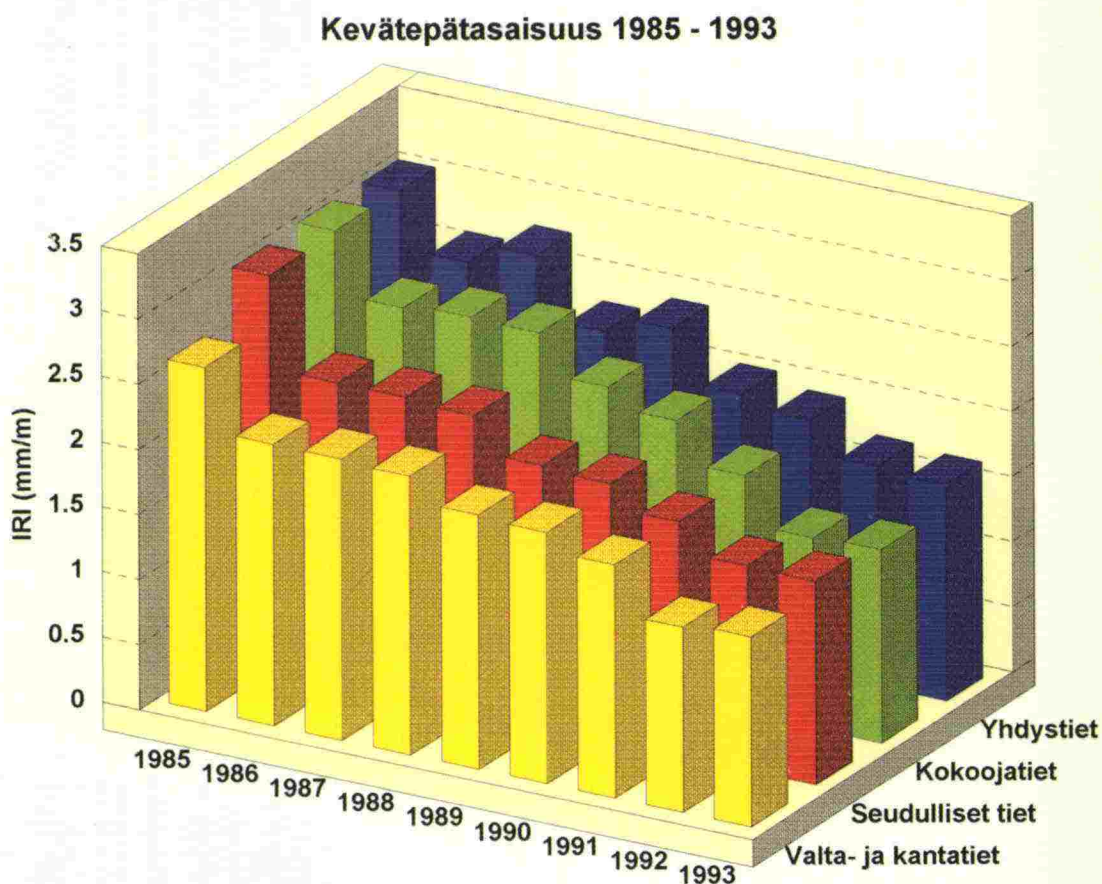


Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1992-1993



Tielaitoksen
selvityksiä
76/1993

Helsinki 1993

Geokeskus
VTT/TGL

Tielaitoksen selvityksiä
76/1993

Vesa Laitinen

**Rakennettujen ja perusparannettujen
teiden tasaisuus 1992-1993**

Tielaitos
Geokeskus
VTT/TGL

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-8132-5
TIEL 3200200
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotemyynti
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Avainsanat päällysteiden kunnossapito, tasaisuus, IRI-arvo

Tiivistelmä

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio on mitannut rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta vuodesta 1984 lähtien laser-tasaisuusmittarilla. Suomessa on vuodesta 1989 alkaen mitattu teiden tasaisuutta VTT:n tie- ja liikennelaboratorion kehittämällä palvelutasomittarilla (PTM-auto), joka mittaa mm. kansainvälisen IRI-epätasaisuusarvon (International Roughness Index). Vuonna 1991 siirryttiin koko maassa käyttämään yksinomaan IRI-mittausta. Nämä tässä raportissa käsitellyt mittaustulokset on saatu siis IRI-mittauksista ja on toinen IRI-mittauksia käsittelevä raportti rakennetuista ja perusparannetuista teistä.

Kokonaisuutena tarkastellen rakennetut ja perusparannetut tiet olivat varsin tasaisia sekä syksyllä 1992 että vielä keväällä 1993 roudan sulamisen aikaan. Tasaisuus alenee tien toiminnallisen luokan alentuessa. Selvästi tasaisimpia ovat moottori- ja moottoriliikennetiet (syksyllä IRI 1,15 mm/m) ja epätasaisimpia yhdystiet (syksyllä IRI 1,69 mm/m). Tämä suuntaus on erityisen selvä syksyllä, keväällä erot eri tien toiminnallisten luokkien välillä eivät ole aivan yhtä selviä.

Tasaisuuden tavoitetasoa ylityksiä oli syksyllä 1992 eniten moottori- ja moottoriliikenneteillä (12 %) sekä valta- ja kantateillä (8,5 %). Muilla teillä ylityksiä oli erittäin vähän. Keväällä 1993 alimman hyväksyttävän tason ylityksiä oli niinkään vain kahdella ylimmällä tieluokalla ja niilläkin vain 1 - 2 %.

Eri tien toiminnallisissa luokissa oli eri tiepiirien välillä tasaisuudessa suuriakin eroja. Osittain nämä erot johtuvat siitä, että aineisto eri piireillä koostuu eri päällystetyypeistä, mutta osa syy eroihin on myös tehdyn työn laadussa.

Päällystetyypeistä tasaisinta oli syksyllä 1992 AB (IRI 1,3 mm/m) ja epätasaisinta SOP (IRI 2,5 mm/m). KAB:n tasaisuus oli varsin lähellä AB:n tasaisuutta (IRI 1,4 mm/m). Myös keväällä 1993 oli havaittavissa sama suuntaus. SOP-päällysteitä ei tosin ollut mukana mittauksissa, jolloin epätasaisinta oli ABE (IRI 1,6 mm/m), tosin ÖS:n tasaisuus oli lähes sama.

Syksyllä 1992 rakennetut tiet olivat noin 10 % tasaisempia kuin perusparannetut. Keväällä tätä eroa ei ollut havaittavissa.

Epätasaisuudet ovat pääsääntöisesti parantuneet koko ajan, kun tätä seurantaa on tehty eli vuodesta 1984. Myös tänä vuonna tasaisuus parani. Keskimääräinen paraneminen koko aineiston osalla oli sekä syksyllä että keväällä noin 5 %. IRI-arvojen välinen tarkastelu voitiin tehdä tänä vuonna ensimmäistä kertaa. Vertailut aikaisempiin vuosiin on tehty laser-tasaisuustuloksiin, jotka on kalibroitu matemaattisesti IRI-arvoiksi. Nämä kalibroidut arvot ovat noin 2 % liian suuria, koska muutokset on tehty luokittaisista keskiarvoista eikä yksittäisistä kilometriarvoista (kalibointi käyräviivainen). Vuodesta 1984 tasaisuus on parantunut valta- ja kantateillä, seudullisilla teillä sekä kokoojateillä noin 35 % ja yhdysteillä 25 %. Suurelta osalta tasaisuuden paranemisen on aiheuttanut työtekniikan kehitys ja se, että siihen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Työtekniikassa on vieläkin kehitettävää ja tätä kautta päästään yhä parempiin tasaisuustuloksiin (esimerkiksi tasausautomaatiikan käyttö). Henkilökunnan koulutus on tässä asiassa avainasemassa.

Alkusanat

Useiden vuosien ajan aina vuodesta 1984 saakka on seurattu rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta vuosittain eri tieluokissa ja eri päällystetyypeillä. Lisäksi on seurattu tasaisuuden kehittymistä koko tarkasteluajanjaksona. Tämän koko seurannan aikana on mittausmenetelmä ja tasaisuuden tunnuslukukin kerran muuttunut, vuonna 1991.

Tutkimuksen on tilannut tielaitos ja yhdyshenkilönä on toiminut ylitarkastaja Reijo Orama. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriossa tutkimuksesta on vastannut tutkija Vesa Laitinen, joka on myös laatinut tämän tutkimusraportin. Kenttämittauksista on vastannut VTT:n osalta tutkimusavustaja Onni Kosonen ja tulosten käsittelystä ATK-suunnittelija Antero Laajanen. Osan kenttämittauksista ovat tiepiirit tehneet itse omilla palvelutasomittausautoillaan.

Espoo, marraskuu 1993

Vesa Laitinen

Sisältö

1 JOHDANTO	7
2 IRI-MITTAUSMENETELMÄ JA TASAISUUSVAATIMUKSET	8
3 TASAISUUS TIEN TOIMINNALLISEN LUOKITUKSEN MUKAAN	12
4 TASAISUUS PÄÄLLYSTETYYPIN MUKAAN	26
5 TASAISUUS ERIKSEEN RAKENNETUILLA JA PERUS- PARANNETUILLA TEILLÄ	28
6 TASAISUUS ERI VUOSINA	31
7 VAATIMUSRAJOJEN YLITYKSET AIEMPIIN VUOSIIN VERRATTUNA	36
8 YHTEENVETO	38
9 LÄHDELUETTELO	40

1 JOHDANTO

Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta on seurattu vuodesta 1984 lähtien. Aiemmin tasaisuus on mitattu Laser-tasaisuusmittarilla, jonka toiminta perustuu laser-etäisyysmittarin ja kiihtyvyyssanturin toimintaan. Mittausten tavoitteena on ollut selvittää teiden tasaisuudelle asetettujen tavoitteiden toteutumista ja teiden tasaisuuden muutoksia ensimmäisen talven aikana tien rakentamisesta. Kevään mittaukset on tehty ennen roudan sulamista. Mittausohjelman pituus on ollut vuosittain noin 1000 km, joskus sen alle joskus jopa lähes 2000 km (1000 tiekilometriä).

1980-luvun lopussa VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio kehitti yhdessä instrumenttitekniikan laboratorion kanssa palvelutasomittarin (PTM-auto), jolla on mitattu teiden tasaisuutta vuodesta 1989 lähtien. PTM-auton tasaisuusmittaus perustuu laser-kameran ja kiihtyvyyssanturin toimintaan, mutta epätasaisuuslukuna käytetään kansainvälistä IRI-lukua (International Roughness Index).

IRI-lukua määriteltäessä pituusprofiilista laskettava epätasaisuusluku simuloi 80 km/h:ssa ajavaan henkilöautoon kohdistuvaa ajomukavuutta, kun taas laser-epätasaisuusluku simuloi 32 km/h:ssa ajavaa henkilöautoa. Ajomukavuuteen vaikuttava epätasaisuuden aallonpituusalue on erilainen näissä simuloinneissa, jolloin IRI-epätasaisuusluku mittaa laser-epätasaisuuslukua pitempiä aallonpituusalueita. Tämän vuoksi IRI-epätasaisuusluku kuvaa laser-epätasaisuuslukua paremmin tien ajomukavuutta ja se on korvannut laser-mittaukset käytännöllisesti katsoen kokonaan vuonna 1991. Tämä raportti on toinen IRI-mittauksiin perustuva raportti rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta seurattaessa.

Parina viime vuotena rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta on mitattu syksyisin erittäin kattavasti, mutta kevään mittaukset ovat jääneet sangen vähiin. Kevään mittaukset ovat olleet vain noin neljäsosa syksyn mittauksista. Jaettaessa tämä aineisto eri kriteerin perusteella erilaisiin luokkiin jää analysoitava aineisto melko vähäiseksi eräiden luokkien osalla.

Aiempiin raportteihin verrattuna tähän on otettu mukaan tarkastelu, millaisia eroja on rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä tieluokittain ja päällystetyypeittäin. Yksittäisepätasaisuuksia ei enää tarkastella, koska niiden rekisteröimisperiaatteet ovat muuttuneet mittaustavan muutoksen yhteydessä (Laser/IRI) eikä näin ollen voida tehdä useamman vuoden trendivertailuja. Monet tiepiirit ovat tehneet kevään mittaukset omilla PTM-autoillaan kuntomittauksina, jolloin yksittäisepätasaisuudet eivät tallennu samojen periaatteiden mukaisesti kuin uusien päällysteiden laatumittauksissa, joten syksyn 1992 ja kevään 1993 välinen vertailukin on mahdotonta.

2 IRI-MITTAUSMENETELMÄ JA TASAISUUS- VAATIMUKSET

IRI-mittauksia tehdään VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorion ja instrumenttitekniikan laboratorion kehittämällä PTM-mittausautolla, jolla voidaan mitata teiden urasyvyyttä ja tasaisuutta. VTT:llä on myös ns. IRI-auto, jolla voidaan mitata vain teiden tasaisuutta. Kaikki autot on rakennettu siten, että ne mittaavat samalla tavalla samoja muuttujia ja ovat keskenään vertailukelpoisia.

Tasaisuustiedon keruu päällysteen pinnasta tapahtuu palvelutasomittariin (PTM-auto) asennetun laserkameran ja kiihtyvyyssanturin avulla. Laserilla mitataan tien pinnan ja korin välistä etäisyyttä ja kiihtyvyyssanturilla korin pystysuuntaista liikettä. Mittaustiheys on 40 mm. Mittaustiedoista lasketaan tien pituussuuntainen profiili runsaan 50 metrin pituisiin aaltoihin saakka. Uramittauksessa käytetään lisäksi leveydeltään säädettävissä olevaa uramittauspalkkia, jossa on 15 ultraäänianturia. PTM-autossa käytetään lisäksi visuaaliseen havainnointiin perustuvaa manuaalista vaurionkartoitusnäppäimistöä. IRI-autossa ei ole uramittauspalkkia, joten sillä ei voi mitata urasyvyyksiä.

Mittausnopeus voi vaihdella välillä 30 - 90 km/h, mutta tulokset ovat nopeudesta riippumattomia. Jokainen mittaus sidotaan tierekisterin osoitejärjestelmään. Tieltä lasketaan keskiarvot ja keskihajonnat 100 metrin jaksoissa. Lisäksi lasketaan koko tieosalle vastaavat tiedot. Tässä raportissa käsitellään IRI-arvojen kilometrin keskiarvoja.

Mahdollisista ulkopuolisista tekijöistä aiheutuvat virheelliset tulokset hylätään ja mittaukset uusitaan tarvittaessa. Sateella tienpinnan lätköityessä ei mitata. Mittaustulokset on saatavissa välittömästi mittauksen päätyttyä sekä paperilla että tietokonelevykeillä.

PTM-autoja oli tämän tutkimuksen käsittävien mittausten aikana käytössä 5 kpl: VTT:llä yksi, Uudenmaan ja Turun tiepiireillä yhteisessä käytössä yksi, Hämeen ja Vaasan piireillä yksi yhteinen, tielaitoksen keskushallinolla yhdessä Kainuun ja Lapin piirien kanssa yksi sekä Keski-Pohjanmaalla yhdessä Oulun piirin kanssa yksi. Lisäksi osa mittauksista tehtiin VTT:n IRI-autolla. Kaikki mittarit ovat VTT:n suunnitteleamia sekä rakentamia.

Mittaukset tuottavat seuraavat tulokset:

- pituussuuntainen tasaisuus (IRI)
- suodatettu pituussuuntainen tasaisuus (IRI4)
- pituusprofiilin poikkeamaindeksi (PI)

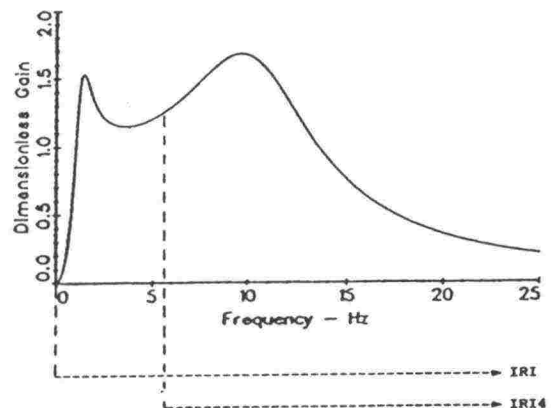
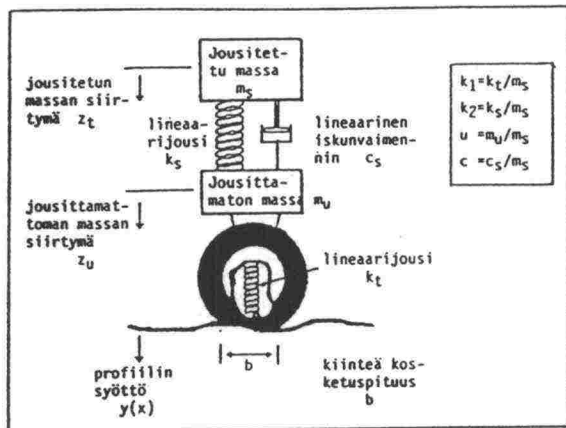
- maksimi- ja minimipoikkeamat paalulukuineen
- maksimikiikkyvyys ja sen paalulukku
- 10 mm suuremmat poikkeamat paalulukuineen
- raja-arvojen ylitykset
- ylityksistä määräytyvät arvonalennusprosentit
- mittausnopeus
- mitattu matka

Pituussuuntaisen tasaisuuden tunnusluvun (IRI) laskenta perustuu laser-kameralla ja kiihtyvyyssanturilla tuotettuun tien pituusprofiiliin. Pituusprofiiliin sijoitetaan laskennallisesti kulkemaan vakionopeudella (80 km/h) etenevä määrätyillä rengas-, jousi- ja iskunvaimennusominaisuuksilla varustettu neljännesauto. Tämän standardiajoneuvon neljänneksen korin ja pyörän välisistä pystysuuntaisista liikkeistä lasketaan jousitetun ja jousittamattoman massan välinen liike. IRI-arvo on pystysuuntainen liike pituusyksikköä kohti ja sen yksikkö on mm/m tai m/km.

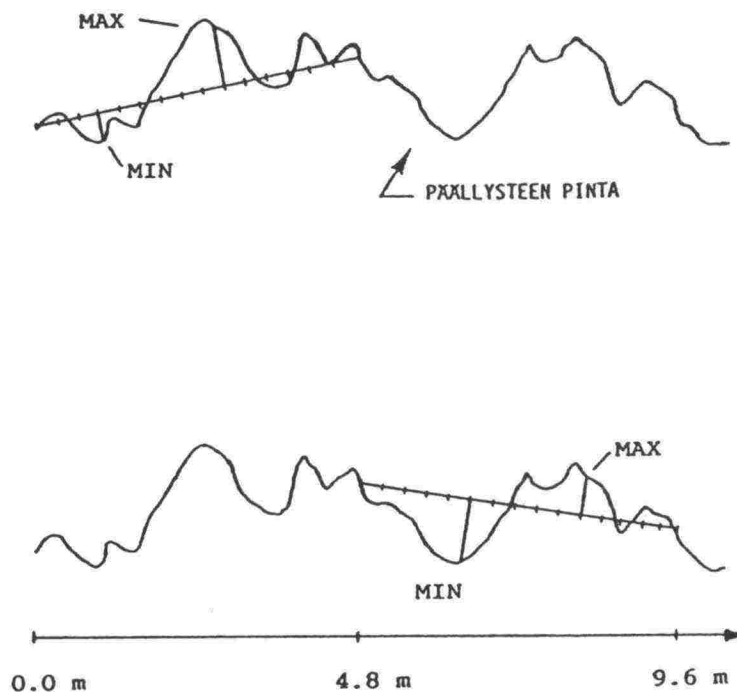
Neljännesajoneuvon ominaisuudet ja pituusprofiilin taajuusvastekäyrä on esitetty kuvassa 1. Kyseisillä ominaisuuksilla varustettu ajoneuvo reagoi käyrän osoittamilla painokertoimilla eri taajuuksiin. Huippuarvot 1,5 ja 10 Hz vastaavat auton rungon ja pyörän ominaisvärähtelytaajuuksia. Laskennassa käytettävällä ajonopeudella 80 km/h taajuuksien huippuarvot vastaavat aallonpituuksia 15 ja 22 m. IRI-luku kuvaa epätasaisuutta, jonka aallonpituus-alue on noin 0,3 - 30 m.

IRI4-arvo vastaa laskentaperiaatteeltaan IRI-arvoa, mutta siitä on suodatettu pois arvoa 5,5 Hz pienemmät taajuudet. Tästä syystä aallonpituudeltaan 4 m pidemmät epätasaisuudet eivät vaikuta IRI4-arvon suuruuteen (kuva 1). IRI4 on laadittu kuvaamaan urakoitsijan levitystyön laatua.

Poikkeamaindeksi määritetään asettamalla mitattuun pituusprofiiliin laskennallisesti 5,12 m pitkä leikkaava oikolauta, jota siirretään 32 cm välein eteenpäin. Koska oikolauta on profiilia leikkaava, ei päällysteen pinnalta tehdyillä perinteisillä oikolautamittauksilla saada yleensä samoja poikkeama-arvoja. Jokaisesta laudan asemasta määritetään minimi- ja maksimipoikkeamat. Jokaisella 100 m osuudella kertyneet 2 mm suuremmat poikkeamahavainnot luokitellaan 1 mm luokkavälein ja eri poikkeamaluokkiin kertyneiden havaintojen yhteislukumäärät kerrotaan luokkakohtaisilla painokertoimilla. Näin saadut painotetut luokkaluvut lasketaan yhteen ja tulos on kyseisen 100 m jakson poikkeamaindeksi (PI). Poikkeamaindeksi on sitä suurempi, mitä enemmän oikolautatasosta esiintyy suuria poikkeamia. Leikkaavan oikolaudan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 1: Standardiajoneuvoneljänneksen laskennallinen malli ja pituusprofiilin taajuusvaste-käyrä.



Kuva 2: Leikkaavan oikolaudan toimintaperiaate pituusprofiilissa (poikkeamaindeksin määrittäminen). Kustakin oikolaudan asemasta (siirros 32 cm:n välein) määritetään minimi- ja maksimipointit 4 cm:n välein. Poikkeamaindeksin määrittämiseen käytetään maksimipointia.

Poikkeamaindeksin laskukaava on esitetty alla (kaava 1):

$$PI = (1/45) * lkm23 + (2/45) * lkm34 + (3/45) * lkm45 + \\ (4/45) * lkm56 + (5/45) * lkm67 + (6/45) * lkm78 + (1) \\ (7/45) * lkm89 + (8/45) * lkm910 + (9/45) * lkm10.$$

Kaavassa esiintyvät poikkeamaluokat:

lkm23 = välin 2 - 3 mm havaintojen lukumäärä, lkm34 = välin 3 - 4 mm havaintojen lukumäärä ...

lkm10 = yli 10 mm havaintojen lukumäärä.

Päällysteille asetetut tasaisuusvaatimukset on laadittu vastaamaan teiden toiminnallista luokitusta; mitä korkeampiluokkainen tie sitä tiukempi on tasaisuusvaatimus. Taulukossa 1 on esitetty rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuden tavoitetasot ja vaatimusrajat muunnettuna IRI-epätasaisuusluvuiksi. Tasaisuusvaatimusrajat on laadittu Laser- ja IRI-mittausten välisten kalibrointien perusteella vastaamaan aiempia Laser-tasaisuusrajoja /12/. Taulukkoa sovelletaan 1000 metrin keskiarvotuloksille.

Taulukko 1: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuden vaatimusrajat muunnettuna IRI-epätasaisuusluvuiksi. Taulukkoa sovelletaan 1000 metrin keskiarvotuloksille /12/.

Tien luokka	Tavoitetaso		Alin hyv. taso	
	Laser (cm/km)	IRI (mm/m)	Laser (cm/km)	IRI (mm/m)
Moottoritiet 120 km/h	80	1,4	125	2,0
Valta- ja kantatiet 100 km/h	90	1,6	170	2,5
Seudulliset tiet 80 km/h	135	2,1	230	3,2
Kokoojatiet 70 km/h	180	2,6	280	3,7
Yhdystiet 60 km/h	200	2,9	300	3,9

3 TASAISUUS TIEN TOIMINNALLISEN LUOKITUKSEN MUKAAN

VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio ja eräät tiepiirit ovat mitanneet syksyllä 1992 ja keväällä 1993 rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuksia PTM- ja IRI-autoilla eri tiepiireissä. Syksyllä 1992 mitattu kokonaispituus oli 1862 km (932 tiekilometriä) ja keväällä selvästi pienempi eli 472 km (236 tie-km). Aineistoja on tarkasteltu siten, että syksyn aineiston osalla tulokset on esitetty aina koko aineistosta sekä kevään mittauksia vastaavasta osasta (taulukoidessa esitetty suluissa). Suurin aineisto oli syksyn osalla kokoojateillä ja keväällä moottori- ja moottoriliikenneteillä (uusi valtatie 3).

Taulukoissa 2 - 6 ja kuvissa 3 - 7 on esitetty tasaisuuden IRI-arvo (mm/m) tien eri toiminnallisissa luokissa tiepiireittäin jaoteltuna. Kuvissa on syksyn osalla tasaisuuden arvona koko syksyn aineiston IRI-arvo, mikäli keväällä mittauksia ei ole tehty. Jos keväälläkin on mitattu, on syksyn osalla kevään mittauksia vastaava arvo.

Kuvissa 8 - 12 on esitetty kilometrikohtaisten tasaisuuslukujen jakauma tien eri toiminnallisissa luokissa syksyllä 1992 ja keväällä 1993. Kuvista nähdään selvästi, että tien epätasaisuus lisääntyy keväällä roudan vaikutuksesta. Keskimäärin tasaisuus oli 15 % huonompi keväällä kuin syksyllä. Suurta eroa ei ollut eri tieluokkien välillä (epätasaisuuden lisääntyminen 11 - 16 %). Epätasaisuus lisääntyy hieman sitä enemmän, mitä alhaisempi on tieluokka ja sitä kautta sille asetetut rakenteelliset vaatimukset. Moottori- ja moottoriliikenneteillä oli selvästi paras tasaisuus ja huonoin oli yhdysteillä. Moottoriteillä tasaisuus huononi keväällä melko vähän johtuen korkealuokkaisesta koko tierakenteesta. Muiden tieluokkien väliset erot eivät olleet yhtä selviä. Yhdysteillä selvästi muita tieluokkia suuremman epätasaisuuden syynä on aina muita päällysteitä epätasaisempi SOP (IRI-arvo 2,5 mm/m). Eräiden tiepiirien osalla joissakin tieluokissa tasaisuus on keväällä ollut jopa syksyä parempi.

Useiden tieluokkien osalla tasaisuus eri piirien välillä vaihteli sangen paljon syksyn 1992 mittaustulosten mukaan (koko aineisto). Moottoriteillä Keski-Suomen tiepiirissä oli tasaisuus erittäin huono. Ero muiden piirien tuloksiin johtuu osittain siitä, että käytetty massa oli ABE, kun muiden massat olivat AB:a, jonka tasaisuus on yleensä parempi. Päällysteen alla oli tällä kohteella osittain maabetoni, jonka tasaisuus ei ollut kaikin osin hyvä (mm. muutamia yksittäisiä heittoja). Erityisen hyvin oli onnistunut vt 3 Hämeessä IRI = 1,0 mm/m). Valta- ja kantateillä Kainuun tiepiirissä oli selvästi muita huonompi tasaisuus. Tämä johtuu yhdestä ilmeisesti hieman epäonnistuneesta kohteesta

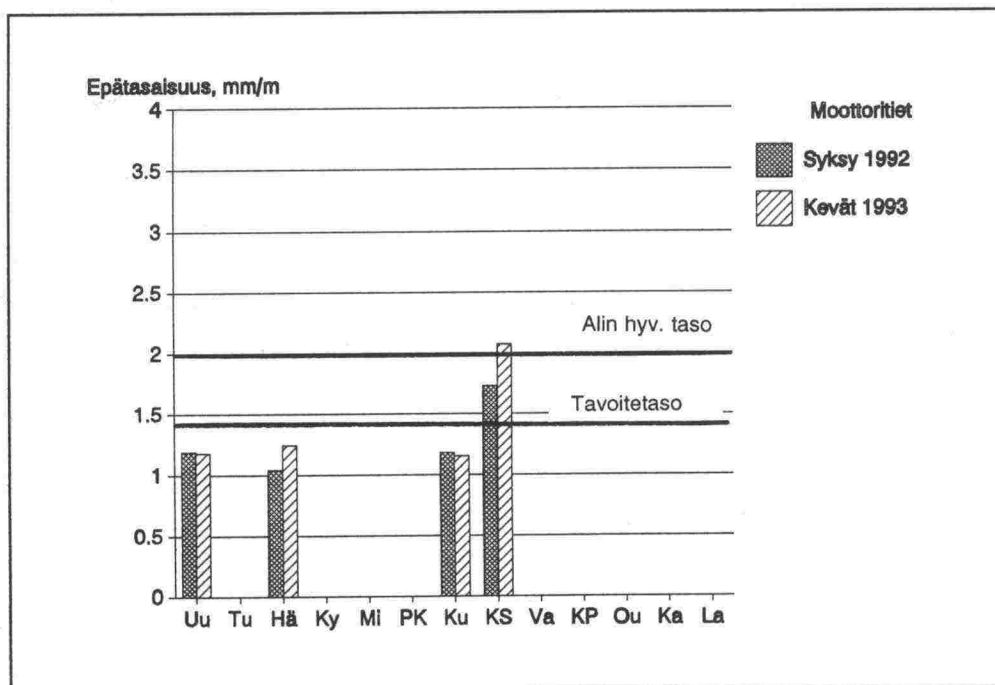
(päälysteenä AB). Seudullisilla teillä Pohjois-Karjalassa ja Keski-Pohjanmaalla oli erittäin hyvä tasaisuus (IRI noin 1,1 mm/m). Molemmissa tiepiireissä oli yksi erittäin hyvin onnistunut KAB-kohde. Kymessä erikoisen huono tulos oli kokoojateillä päälysteen ollessa KAB (IRI = 1,9 mm/m). Keski-Pohjanmaan tiepiirissä oli yhdysteillä tasaisuus muita alhaisempi (IRI = 1,9 mm/m). Tähän aineistoon kuului yksi selvästi epäonnistunut AB kohde (13 km, IRI = 2,1 mm/m).

Kevään 1993 mittauksissa Keski-Suomen moottoritielle tehty ABE-kohde oli erityisen huono muihin verrattuna (IRI 2,1 mm/m). Tämä kohdehan oli tasaisuudeltaan huono jo syksyllä. Muuten moottori- ja moottoriliikennetiet olivat onnistuneet hyvin eikä keväällä ollut tapahtunut merkittävää tasaisuuden alenemista. Vt 3:lla oli hyvä tasaisuus myös keväällä (IRI = 1,2 mm/m). Valta- ja kantateillä huonoimmat tasaisuudet olivat Keski-Suomessa ja Kainuussa. Seudullisten teiden osalla ei ollut muita merkittäviä eroja kuin se, että Keski-Pohjanmaalla oli tasaisuus erittäin hyvä (IRI 1,1 mm/m, massa AB). Kymessä oli kokoojateillä erittäin huono tasaisuus (IRI 1,95 mm/m). Yhdysteiden osalla oli erikoista se, että Mikkelin tiepiirissä tasaisuus oli keväällä parantunut selvästi (0,24 mm/m). Tällaiseen saattaa olla syynä se, että korjaustoimenpide tehdään liian aikaisin, jolloin käytännössä korjataan roudan vaikutusta. Tasaisuus huononee roudan mentyä ohi ja paranee taas keväällä uuden roudan aikaan.

Työn laadussa on merkittäviä eroja eri urakoiden ja urakoitsijoiden kesken. Kun tarkastellaan tasaisuuksia urakoittain otettaessa mukaan vain sellaiset urakat, joiden kokonaislaajuus (syksyn 1992 koko mittaussaineisto) oli yli 50 km, oli IRI-arvon vaihteluväli 1,0 - 1,8 mm/m (SOP-työ ei ole mukana tarkastelussa). Pienissä yksittäisissä kohteissa oli ero vielä suurempi. Myös eri urakoitsijoiden välillä oli suuria eroja. IRI-arvon vaihteluväli oli 1,1 - 1,6 mm/m, ilman aivan pieniä erillisiä kohteita.

Taulukko 2: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus moottori- ja moottoriliikenneteillä syksyllä 1992 ja keväällä 1993 tiepiireittäin (tavoitetaso 1,4 mm/m, alin hyväksyttävä taso 2,0 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

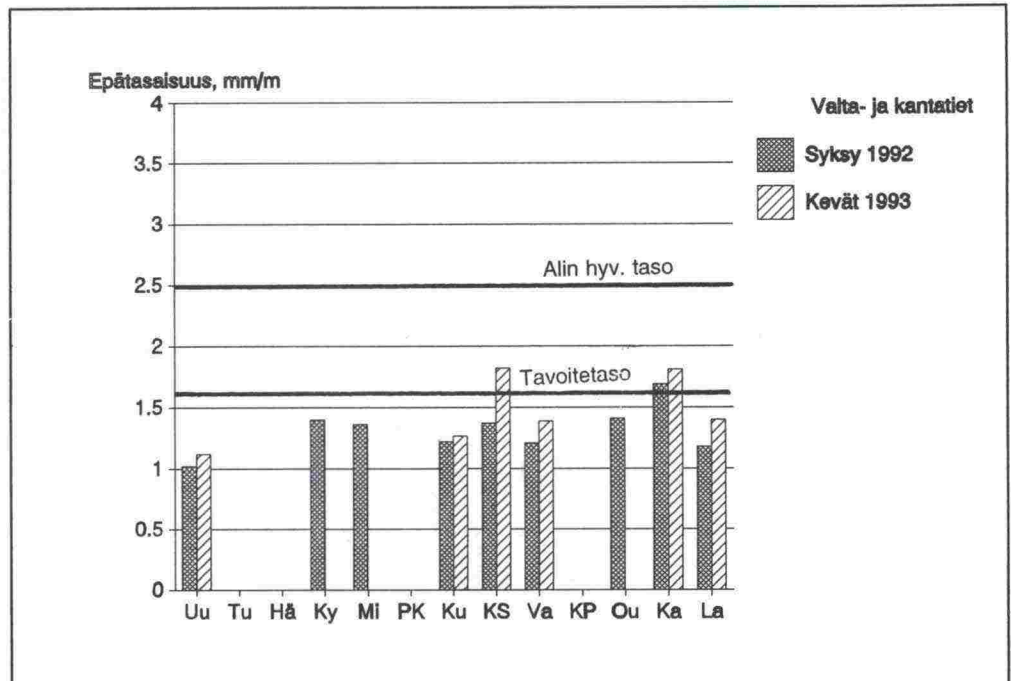
Piiri	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Uusimaa	66	32	1,16 (1,19)	1,18
Turku	-	-	-	-
Häme	112	120	1,04 (1,04)	1,24
Kymi	-	-	-	-
Mikkeli	-	-	-	-
Pohj.-Karjala	-	-	-	-
Kuopio	8	8	1,18 (1,18)	1,15
Keski-Suomi	19	6	1,65 (1,73)	2,07
Vaasa	-	-	-	-
K.-Pohjanmaa	-	-	-	-
Oulu	-	-	-	-
Kainuu	-	-	-	-
Lappi	-	-	-	-
Yhteensä	205	166	1,15 (1,10)	1,26



Kuva 3: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus moottori- ja moottoriliikenneteillä.

Taulukko 3: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus valta- ja kantateillä syksyllä 1992 ja keväällä 1993 piireittäin (tavoite-taso 1,6 mm/m, alin hyväksyttävä taso 2,5 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

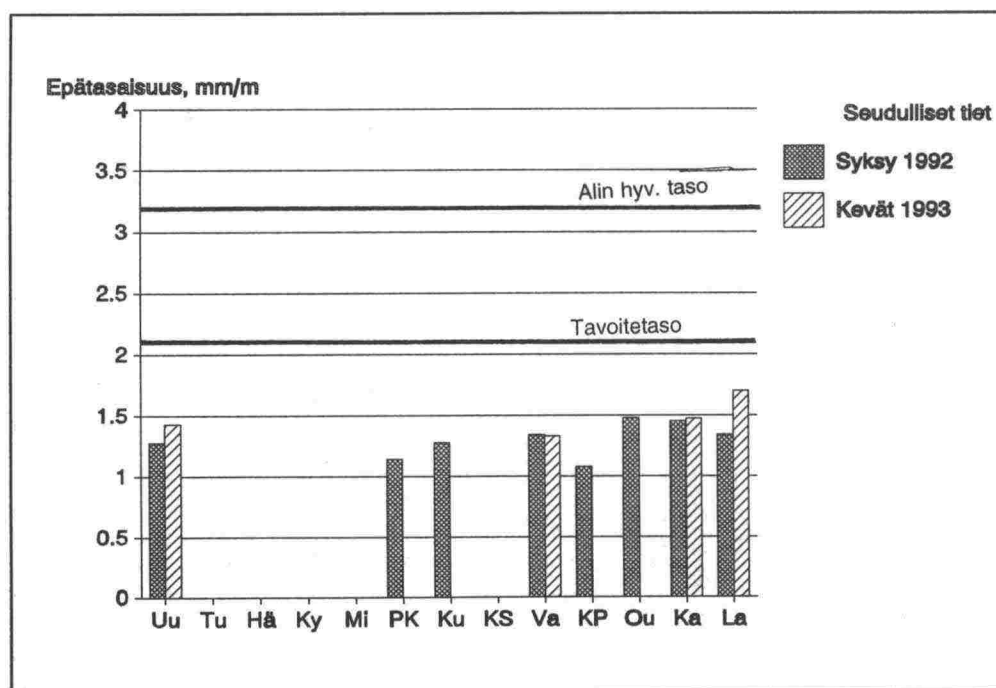
Piiri	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Uusimaa	4	4	1,02 (1,02)	1,12
Turku	-	-	-	-
Häme	-	-	-	-
Kymi	42	-	1,40	-
Mikkeli	12	-	1,36	-
Pohj.-Karjala	-	-	-	-
Kuopio	58	28	1,16 (1,22)	1,27
Keski-Suomi	23	18	1,38 (1,37)	1,82
Vaasa	25	13	1,19 (1,21)	1,39
K.-Pohjanmaa	-	-	-	-
Oulu	61	-	1,41	-
Kainuu	18	9	1,67 (1,69)	1,81
Lappi	43	43	1,18 (1,18)	1,40
Yhteensä	286	115	1,31 (1,26)	1,46



Kuva 4: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus valta- ja kantateillä.

Taulukko 4: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus seudullisilla teillä syksyllä 1992 ja keväällä 1993 tiepiireittäin (tavoitetaso 2,1 mm/m, alin hyväksyttävä taso 3,2 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

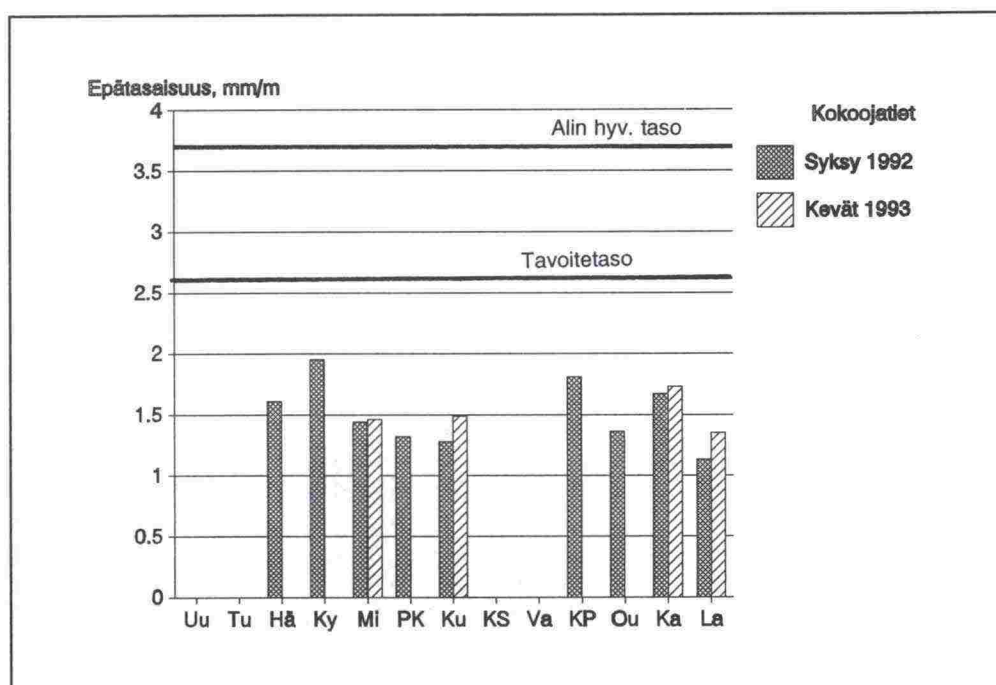
Piiri	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Uusimaa	16	9	1,52 (1,28)	1,43
Turku	-	-	-	-
Häme	-	-	-	-
Kymi	-	-	-	-
Mikkeli	-	-	-	-
Pohj.-Karjala	63	-	1,14	-
Kuopio	10	-	1,28	-
Keski-Suomi	-	-	-	-
Vaasa	46	19	1,32 (1,34)	1,33
K.-Pohjanmaa	20	-	1,08	-
Oulu	38	-	1,48	-
Kainuu	72	4	1,52 (1,45)	1,47
Lappi	42	42	1,34 (1,34)	1,70
Yhteensä	307	74	1,35 (1,34)	1,56



Kuva 5: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus seudullisilla teillä.

Taulukko 5: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus kokoojateilla syksyllä 1992 ja keväällä 1993 tiepiireittäin (tavoitetaso 2,6 mm/m, alin hyväksyttävä taso 3,7 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

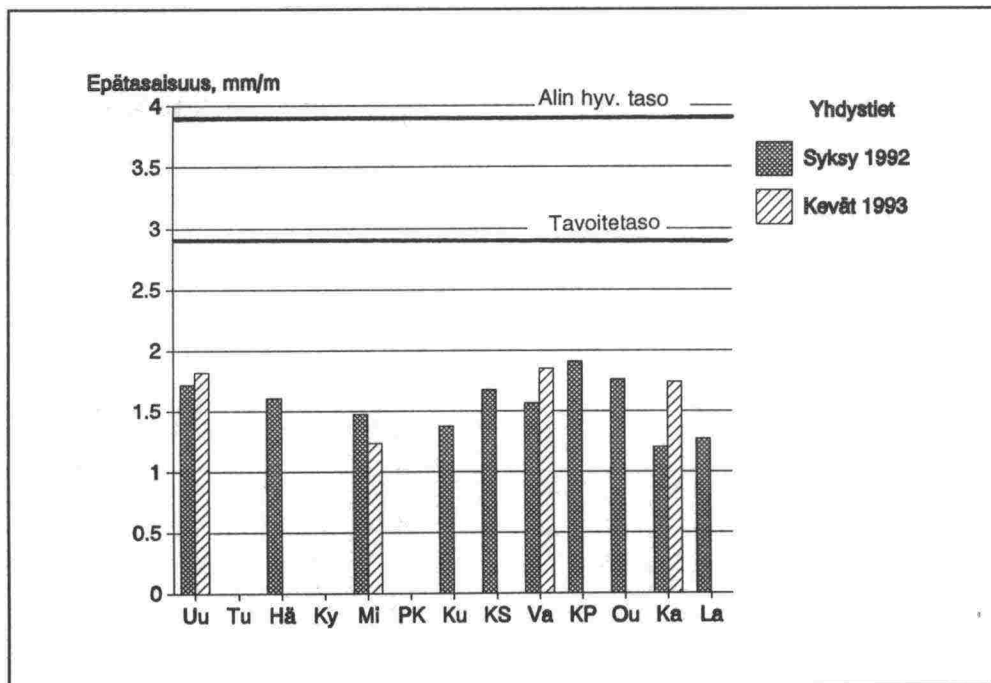
Piiri	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Uusimaa	-	-	-	-
Turku	-	-	-	-
Häme	50	-	1,61	-
Kymi	44	-	1,95	-
Mikkeli	133	6	1,43 (1,44)	1,46
Pohj.-Karjala	43	-	1,32	-
Kuopio	81	37	1,37 (1,28)	1,49
Keski-Suomi	-	-	-	-
Vaasa	-	-	-	-
K.-Pohjanmaa	8	-	1,81	-
Oulu	109	-	1,36	-
Kainuu	101	13	1,53 (1,67)	1,73
Lappi	35	24	1,25 (1,13)	1,35
Yhteensä	604	80	1,47 (1,31)	1,48



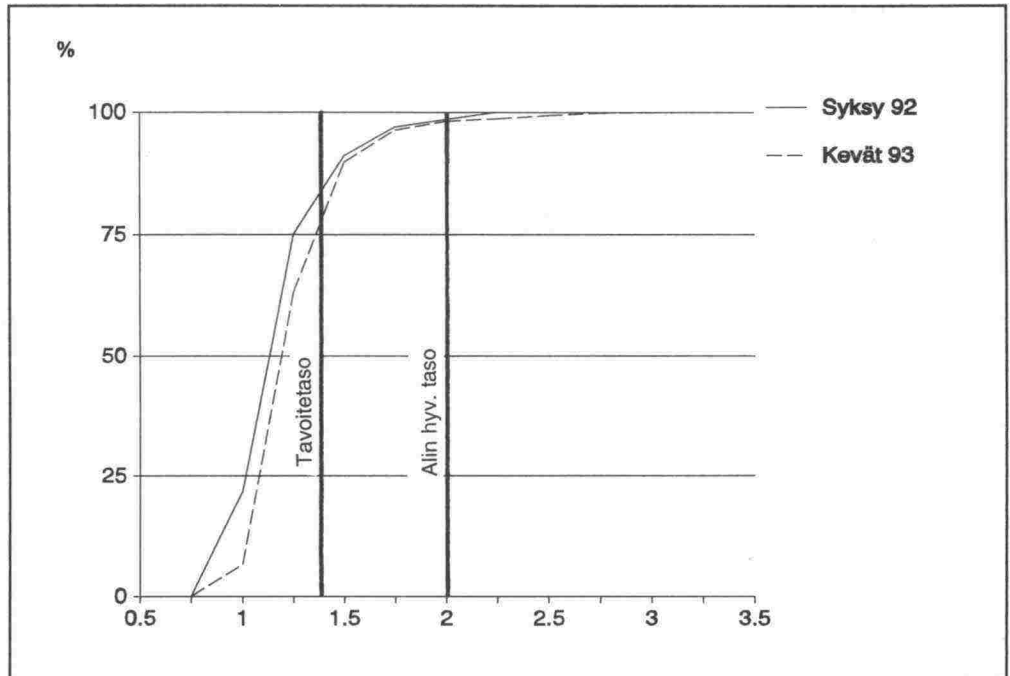
Kuva 6: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus kokoojateilla.

Taulukko 6: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus yhdysteillä syksyllä 1992 ja keväällä 1993 tiepiireittäin (tavoitetaso 2,9 mm/m, alin hyväksyttävä taso 3,9 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

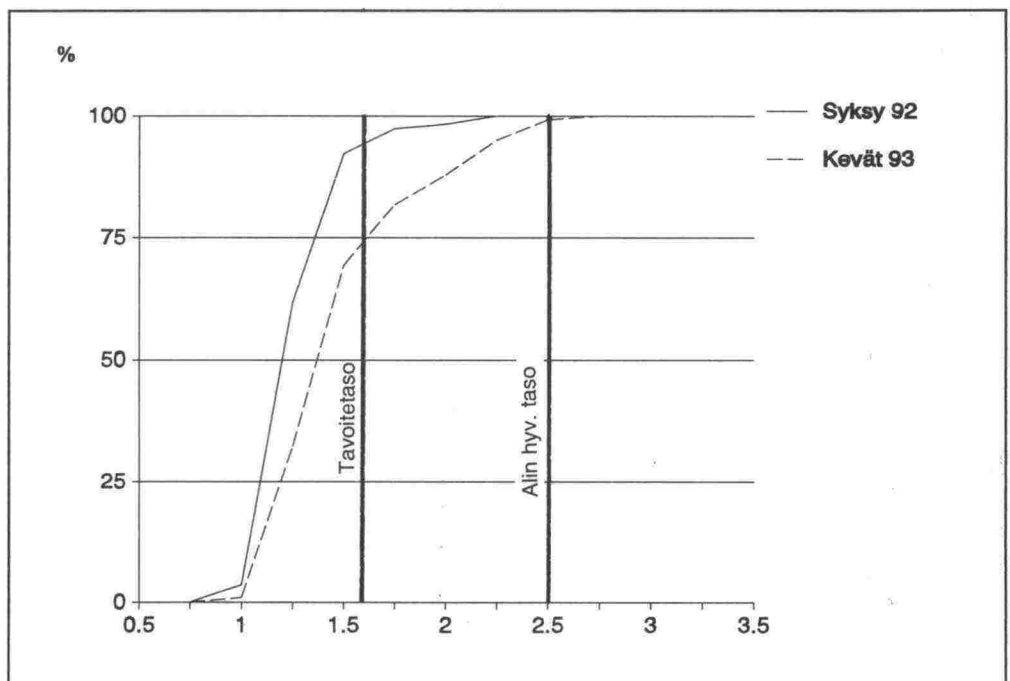
Piiri	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Uusimaa	5	2	1,73 (1,72)	1,82
Turku	-	-	-	-
Häme	42	-	1,61	-
Kymi	-	-	-	-
Mikkeli	48	10	1,67 (1,47)	1,23
Pohj.-Karjala	-	-	-	-
Kuopio	26	-	1,37	-
Keski-Suomi	8	-	1,68	-
Vaasa	55	20	1,61 (1,57)	1,85
K.-Pohjanmaa	58	-	1,91	-
Oulu	182	-	1,76	-
Kainuu	26	5	1,54 (1,20)	1,74
Lappi	10	-	1,27	-
Yhteensä	460	37	1,69 (1,50)	1,66



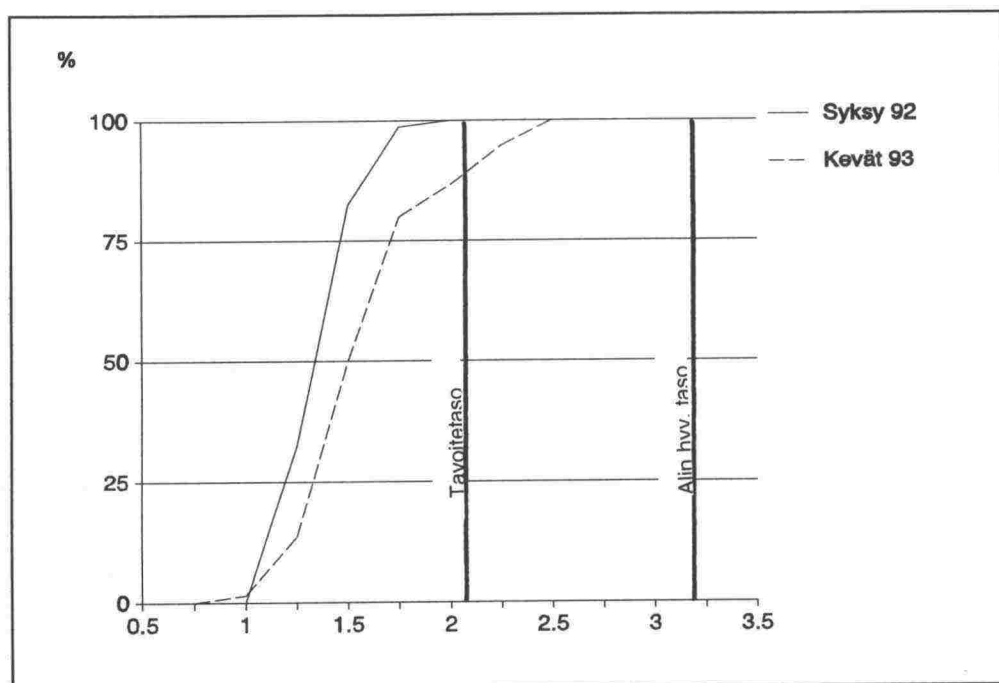
Kuva 7: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus yhdysteillä.



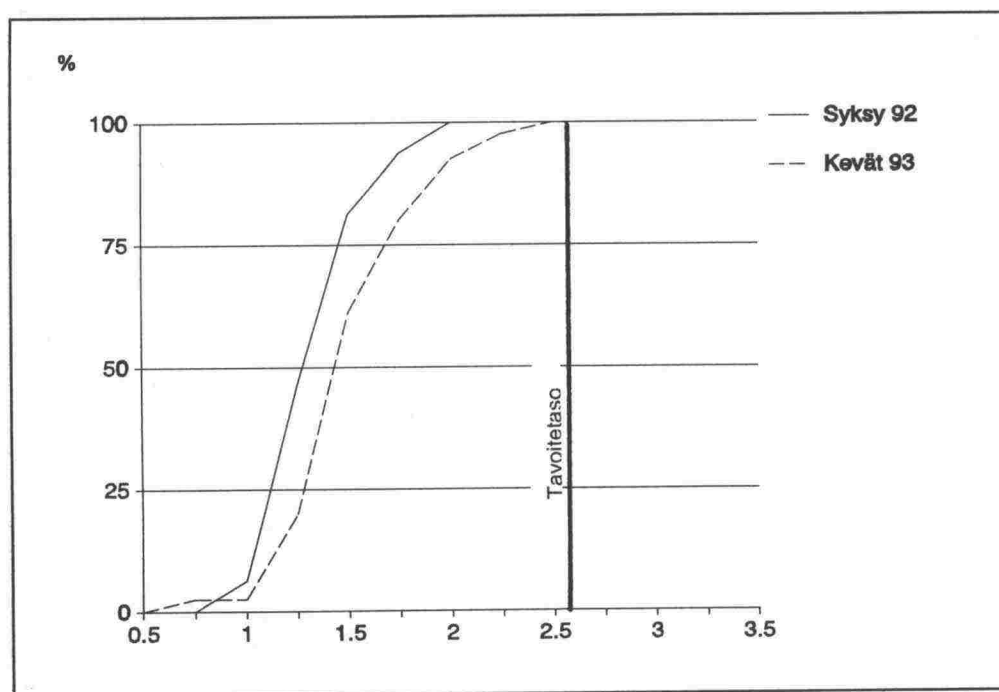
Kuva 8: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma moottori- ja moottoriliikenneteillä syksyllä ja keuhällä.



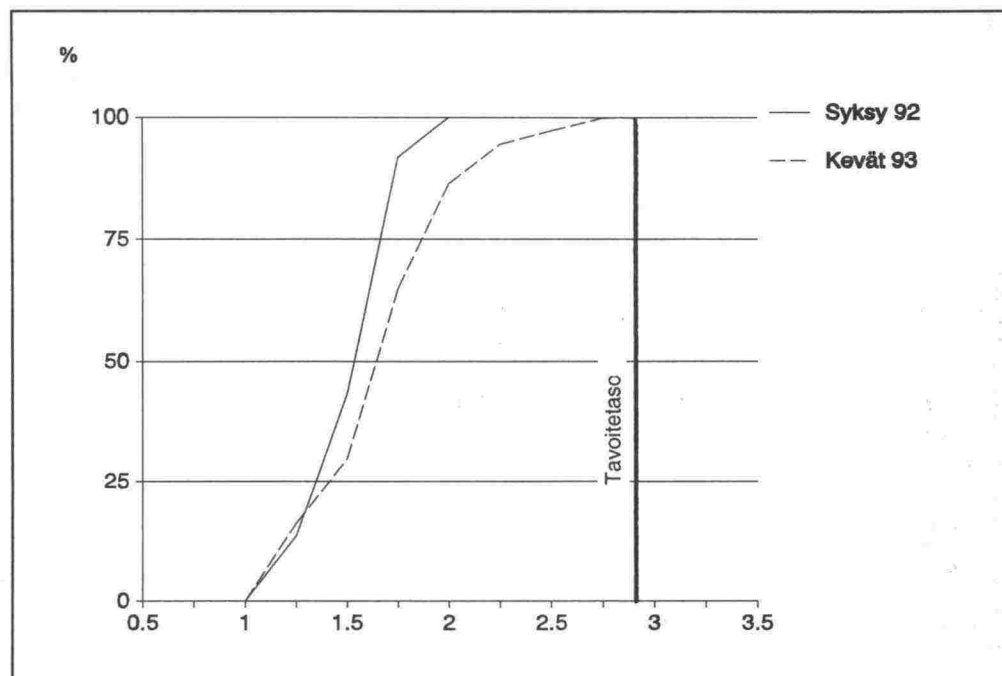
Kuva 9: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma valta- ja kantateillä syksyllä ja keuhällä.



Kuva 10: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma seudullisilla teillä syksyllä ja keväällä.



Kuva 11: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma kokoojateillä syksyllä ja keväällä.



Kuva 12: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma yhdysteillä syksyllä ja keväällä.

Taulukoissa 7 - 11 on esitetty tavoitetason (syksy 1992) ja alimman hyväksyttävän tason (kevät 1993) ylitykset piireittäin. Luvut on laskettu kilometrikohtaisista keskiarvoista. Syksyn kohdalla on tuloksissa esitetty suluissa toinen tasaisuusarvo eli syksyn sallittujen tasaisuuksien ylitykset keväällä mitatun aineiston osalta.

Tavoitetason ylittäneitä kilometrejä oli koko syksyn aineistossa moottori- ja moottoriliikenneteillä 24 km (12 %), valta- ja kantateillä 24 km (8,5 %), seudullisilla teillä 3 km (1 %), kokoojateillä 6 km (1 %) ja yhdysteillä 7 km (1,5 %). Joidenkin tieluokkien osalla eräillä tiepiireillä aineisto oli niin pieni, ettei ylitysprosentti ole tilastollisesti merkittävä. Kun tarkastellaan sitä osaa syksyn aineistosta, joka mitattiin myös keväällä, olivat tavoitetason ylitykset hieman pienempiä kuin koko syksyn aineiston osalla. Ylitysten määrä oli todella pieni kahta korkeinta tieluokkaa lukuunottamatta.

Keväällä alin hyväksyttävä taso ylitettiin vain moottori- ja moottoriliikenneteillä 3 km (2 %) sekä valta- ja kantateillä 1 km (1 %). Ylitysten määrä oli siis kokonaisuudessaan keväällä erittäin pieni.

Keski-Suomen tiepiirissä moottoritiekohteella tavoitetaso ylitettiin syksyllä koko tieosuuden matkalla ja keväälläkin alin hyväksyttävä taso ylitettiin puolella tien pituudesta. Tämä kertoo selvästi kohteen työn pahasta epäonnistumisesta tasaisuuden osalta. Valta- ja kantateillä ylitettiin Kainuussa tavoitetaso syksyllä yli puolella mitatusta matkasta, mutta alinta hyväksyttyä tasoa ei enää keväällä ylitetty lainkaan. Syksylläkin ylitykset olivat pääasiassa pieniä.

Taulukko 7: Tavoitetason 1,4 mm/m ylitykset syksyllä 1992 ja alimman hyväksyttävän tason 2,0 mm/m ylitykset keväällä 1993 mootorteilla tiepiireittäin. Suluissa syksyn osalla kevään aineistoa vastaava tulos.

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1992	kevät 1993
Uusimaa	12,1 (21,9)	0
Turku	-	-
Häme	0,9 (0,9)	0
Kymi	-	-
Mikkeli	-	-
Pohjois-Karjala	-	-
Kuopio	0 (0)	0
Keski-Suomi	84,2 (100)	50
Vaasa	-	-
Keski-Pohjanmaa	-	-
Oulu	-	-
Kainuu	-	-
Lappi	-	-
Yhteensä	11,7 (8,9)	1,8

Taulukko 8: Tavoitetason 1,6 mm/m ylitykset syksyllä 1992 ja alimman hyväksyttävän tason 2,5 mm/m ylitykset keväällä 1993 valta- ja kantateilla tiepiireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1992	kevät 1993
Uusimaa	0 (0)	0
Turku	-	-
Häme	-	-
Kymi	11,9	-
Mikkeli	0	-
Pohjois-Karjala	-	-
Kuopio	0 (0)	0
Keski-Suomi	13,0 (5,6)	5,6
Vaasa	0 (0)	0
Keski-Pohjanmaa	-	-
Oulu	9,8	-
Kainuu	55,6 (55,6)	0
Lappi	0 (0)	0
Yhteensä	8,4 (5,2)	0,9

Taulukko 9: Tavoitetason 2,1 mm/m ylitykset syksyllä 1992 ja alimman hyväksyttävän tason 3,2 mm/m ylitykset keväällä 1993 seudullisilla teillä tiepiireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1992	kevät 1993
Uusimaa	12,5 (0)	0
Turku	-	-
Häme	-	-
Kymi	-	-
Mikkeli	-	-
Pohjois-Karjala	0	-
Kuopio	0	-
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	0 (0)	0
Keski-Pohjanmaa	0	-
Oulu	0	-
Kainuu	1,4 (0)	0
Lappi	0 (0)	0
Yhteensä	1,0 (0)	0

Taulukko 10: Tavoitetason 2,6 mm/m ylitykset syksyllä 1992 ja alimman hyväksyttävän tason 3,7 mm/m ylitykset keväällä 1993 kokoojateillä tiepiireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1992	kevät 1993
Uusimaa	-	-
Turku	-	-
Häme	0	-
Kymi	11,4	-
Mikkeli	0 (0)	0
Pohjois-Karjala	0	-
Kuopio	0 (0)	0
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	-	-
Keski-Pohjanmaa	0	-
Oulu	0	-
Kainuu	0 (0)	0
Lappi	0 (0)	0
Yhteensä	0,8 (0)	0

Taulukko 11: Tavoitetason 2,9 mm/m ylitykset syksyllä 1992 ja alimman hyväksyttävän tason 3,9 mm/m ylitykset keväällä 1993 yhdysteillä tiepiireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1992	kevät 1993
Uusimaa	0 (0)	0
Turku	-	-
Häme	0	-
Kymi	-	-
Mikkeli	0 (0)	0
Pohjois-Karjala	-	-
Kuopio	0	-
Keski-Suomi	0	-
Vaasa	0 (0)	0
Keski-Pohjanmaa	3,4	-
Oulu	2,7	-
Kainuu	0 (0)	0
Lappi	0	-
Yhteensä	1,5 (0)	0

Taulukossa 12 on esitetty tasaisuustulokset tiepiireittäin jaoiteltuina. Eri piirien välillä on havaittavissa selviä eroja. Erot aiheutuvat pääasiassa siitä, että aineistot eivät ole homogeenisia. Eri tiepiireillä on aineistossa mukana eri tieluokkia ja päällystetyyppejä. Erityisen alhaiset tasaisuudet olivat syksyllä 1992 Kymen ja Keski-Pohjanmaan tiepiireissä. Kymen piirissä oli 44 km pitkä huono KAB-osuus (IRI = 1,95 mm/m). Keski-Pohjanmaalla aineisto koostuu ainoastaan seudullisista ja sitä alhaisempaa luokkaa olevista teistä sekä lisäksi ÖS-päällysteet olivat epätasaisia (IRI = 1,94 mm/m). Pohjois-Karjalassa oli tehty erittäin hyvin onnistuneita KAB- ja ÖS-päällysteitä, vaikka osa tasaisuuseroista eri piirien välillä selittyy erityyppisellä aineistolla, on osa syy varmasti myös eritasoinen työ. Oulun aineistoon kuuluu 42 km selvästi muita päällysteitä epätasaisempaa SOP:ia (IRI = 1,5 mm/m), mikä selittää tiepiirin hieman keskiarvoa huonomman tasaisuuden.

Keväällä huonoin tasaisuus oli Keski-Suomen tiepiirissä ja parhain Uudellamaalla ja Hämeessä. Hämeen kevään aineisto muodostuu vain valtatie 3:n mittauksista. Tällä tiellä tasaisuus oli erittäin hyvä sekä syksyllä (IRI 1,04 mm/m) että keväällä (IRI 1,25 mm/m). Kevätmittauksia ei tehty lainkaan Turussa, Kymessä, Pohjois-Karjalassa, Keski-Pohjanmaalla eikä Oulussa. Turun tiepiirissä ei ollut kohteita syksylläkään.

Taulukko 12: Tasaisuustulokset tiepiireittäin jaoteltuina syksyllä 1992 ja keväällä 1993. Suluissa on esitetty syksyn osalla kevään mittauksia vastaavan aineiston tulokset.

Piiri	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Uusimaa	91	47	1,25 (1,21)	1,25
Turku	-	-	-	-
Häme	204	120	1,30 (1,04)	1,25
Kymi	86	-	1,68	-
Mikkeli	193	16	1,49 (1,46)	1,31
Pohj.-Karjala	106	-	1,21	-
Kuopio	183	73	1,29 (1,24)	1,37
Keski-Suomi	50	24	1,53 (1,46)	1,89
Vaasa	126	52	1,42 (1,39)	1,55
K.-Pohjanmaa	86	-	1,71	-
Oulu	390	-	1,56	-
Kainuu	217	31	1,54 (1,57)	1,72
Lappi	130	109	1,26 (1,23)	1,55
Yhteensä	1862	472	1,44 (1,24)	1,42

4 TASAISUUS PÄÄLLYSTETYYPIN MUKAAN

Eri päällystetyyppien keskimääräiset tasaisuudet on esitetty taulukossa 13. Mukana ovat kaikki tieluokat ja kaikki tiepiirit. Taulukossa 14 on päällystetyypit jaoteltu vielä tien toiminnallisen luokan mukaan. Syksyn ja kevään aineistoja on käsitelty erikseen. Taulukossa 13 on esitetty suluissa syksyn tulokset samasta aineistosta kuin kevään tulokset ja taulukossa 14 syksyn tulokset kevään mittauksia vastaavasta aineistosta on esitetty erikseen. Eniten käytetyt massatyytit olivat AB, KAB ja ÖS. Näiden päällysteiden yhteisosuus koko syksyn 1992 mittausaineistosta oli 93 %, ja keväällä 1993 niiden osuus oli peräti 97 %.

Syksyn 1992 tulokset ovat hyvin saman suuntaisia kuin aikaisempinakin vuosina. AB- ja KAB-päällysteet ovat tasaisuudeltaan parhaimpia. Etenkin alhaisimmilla tieluokilla oli KAB tasaisinta. Poikkeuksia aikaisempaan ovat SMA:n erittäin huono IRI-arvo (1,73 mm/m). Aineisto oli tosin erittäin pieni (vain 3 km), eli kyseessä on yksi epäonnistunut pieni kohde. BS:n tasaisuus oli poikkeuksellisen hyvä (1,22 mm/m, edellisvuonna 1,66 mm/m). Tähän on vaikuttanut osaltaan se, että käytetty BS oli maksimiraekooltaan pienempi kuin aikaisemmin (20/32 mm). Aineisto oli myös tässä tapauksessa varsin pieni (8 km). ABE-päällysteen tasaisuus oli selvästi huonompi kuin AB:n. ASTO-tutkimusten mukaan ABE:n levitettävyydenkin on AB-massaa huonompi (AB:lla 1,0 ja ABE:lla 0,5). SMA:n levitettävyyden on samaa luokkaa kuin AB:lla /13/. Tässä valossa SMA:n huono tasaisuus vaikuttaa erikoiselta eli kyseessä täytyy olla epäonnistunut työ. SOP-päällysteiden tasaisuus oli hieman parantunut edelliseen vuoteen verrattuna.

Suuntaus eri päällystetyyppien välillä oli myös kevään 1993 mittausten mukaan sama. ABE:n tasaisuus oli vielä öljysoraakin alhaisempi. Suhteellisesti eniten lisääntyi öljysoralla 17 % ja vähiten KAB:lla 10 %. ABE:lla tasaisuuden alenema oli 11 % ja AB:lla 14 %. Myös edellisenä vuonna päällysteiden käyttäytyminen oli aivan saman suuntaista, öljysoran ja KAB:n muutoksen välinen ero oli vain vielä suurempi.

Taulukko 13: Eri päällystetyyppien keskimääräiset tasaisuudet syksyllä 1992 ja keväällä 1993. Syksyn kohdalla on suluissa esitetty kevään aineistoa vastaava tulos.

Päällyste	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
SMA	3	-	1,73	-
ABE	71	15	1,45 (1,42)	1,58
AB	445	309	1,29 (1,20)	1,37
BS	8	-	1,22	-
KAB	629	56	1,38 (1,30)	1,43
ÖS	664	92	1,54 (1,33)	1,56
SOP	42	-	2,48	-

Taulukko 14: Eri päällystetyyppien keskimääräiset tasaisuudet tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuina syksyllä 1992 ja keväällä 1993.

Tieluokka	Tasaisuus, syksy 1992 (koko aineisto)						
	ABE	SMA	AB	BS	KAB	ÖS	SOP
Moottoritiet ja mol	1,51		1,09				
Valta- ja kantatiet	1,41		1,26		1,31		
Seudulliset tiet		1,73	1,47		1,34	1,27	
Kokoojatiet			1,59		1,42	1,49	
Yhdystiet			1,70	1,22	1,44	1,65	2,48
	Tasaisuus, syksy 1992 (kevään aineisto)						
	ABE	SMA	AB	BS	KAB	ÖS	SOP
Moottoritiet ja mol	1,41		1,15				
Valta- ja kantatiet	1,50		1,25				
Seudulliset tiet			1,39		1,34	1,31	
Kokoojatiet			1,60		1,28	1,13	
Yhdystiet			1,72			1,49	
	Tasaisuus, kevät 1993						
	ABE	SMA	AB	BS	KAB	ÖS	SOP
Moottoritiet ja mol	1,54		1,23				
Valta- ja kantatiet	2,10		1,45				
Seudulliset tiet			1,68		1,33	1,61	
Kokoojatiet			1,65		1,49	1,35	
Yhdystiet			1,83			1,66	

5 TASAISUUS ERIKSEEN RAKENNETUILLA JA PERUSPARANNETUILLA TEILLÄ

Tarkasteltaessa koko syksyn 1992 aineistoa on havaittavissa, että rakennettujen teiden tasaisuus ($IRI = 1,34 \text{ mm/m}$) on hieman parempi kuin perusparannettujen teiden tasaisuus ($IRI = 1,50 \text{ mm/m}$, ilman SOP-päällystettä $1,45 \text{ mm/m}$). Rakennettaessa kokonaan uusi rakenne päästään tasaisuuden osalta siis parempaan lopputulokseen kuin korjaamalla vanhaa rakennetta. Tämä on varsin loogista, koska uusi rakenne on kokonaisuudessaan lähes poikkeuksetta homogeenisempi. Rakennettujen teiden kokonaispituus oli 642 (321 tiekilometriä) kaistakilometriä ja perusparannettujen 1220 kaistakilometriä.

Taulukossa 15 on esitetty rakennettujen ja perusparannettujen teiden väliset erot tieluokittain ja taulukossa 16 päällystetyypeittäin syksyn koko mittausaineiston mukaisena. Eri tieluokkien kesken ei ole merkittäviä eroja rakennettujen ja perusparannettujen teiden välisissä eroissa. Tasaisuus huononi kummassakin tapauksessa tien toiminnallisen luokan alentuessa. Perusparannettujen yhdysteiden selvästi huonompi tasaisuus johtuu siitä, että perusparannettujen aineistoon kuuluu 42 km SOP-päällystettä. Päällystetyypeittäin eroja sen sijaan oli havaittavissa. Pääasiassa rakennettujen tasaisuus oli parempi; poikkeuksena oli kuitenkin ABE, jonka tasaisuus perusparannetuilla teillä oli parempi. Öljysoran osalla ei ollut lainkaan eroa.

Taulukoissa 17 ja 18 on esitetty vastaava jaoittelu syksyllä 1992, kun käsittelyssä on mukana vain kevään 1993 mittauksia vastaava aineisto ja taulukoissa 19 ja 20 on käsitelty kevään aineisto.

Keväällä 1993 rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuudessa ei ollut mitään eroa, molempien keskimääräinen tasaisuus oli $IRI = 1,42 \text{ mm/m}$. Rakennettujen mitattu pituus oli 371 km ja perusparannettujen 101 km. Kevään mittausaineisto koostui pääasiassa korkealuokkaisilta teiltä, vähintään kantatietasoa 60 % aineistosta. Kevään mittausten mukaan ainoastaan moottori- ja moottoriliikenneteillä oli rakennetuilla selvästi muista tieluokista eroava ja parempi tasaisuus, muiden tieluokkien tasaisuus oli melko saman suuruinen. Öljysorapäällysteiden tasaisuus oli perusparannetuilla teillä selvästi rakennettuja parempi. Muiden päällystetyyppien osalla rakennettujen teiden tasaisuus oli parempi.

Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuden välillä oli osittain selviä epäloogisuuksia. Tämä viittaa siihen, että työn taso eri urakoissa on vaihdellut suurestikin ja aiheuttanut erot. Tähän viittaa myös piirikohtainen tarkastelu. Pääosin eri piireissä rakennetuilla teillä oli parempi tasaisuus kuin perusparannetuilla, mutta joiden piirien osalla perusparannettujen teiden tasaisuus oli selvästi parempi rakennettujen tasaisuuden ollessa jopa huono todennäköisesti huonon työn takia.

Taulukko 15: Tasaisuuden ero rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuina syksyllä 1992 (koko aineisto).

Tieluokka	Rakennettu		Perusparannettu	
	Pituus (km)	IRI (mm/m)	Pituus (km)	IRI (mm/m)
Mo + Mol	205	1,14	-	-
Vt + Kt	87	1,37	199	1,28
Seud.tie	114	1,34	193	1,35
Kokoojatie	151	1,44	453	1,47
Yhdystie	85	1,57	375	1,71
Yhteensä	642	1,34	1220	1,50

Taulukko 16: Tasaisuuden ero rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä päällystetyypin mukaan jaoiteltuina syksyllä 1992 (koko aineisto).

Päällystetyyppi	Rakennettu		Perusparannettu	
	Pituus (km)	IRI (mm/m)	Pituus (km)	IRI (mm/m)
ABE	29	1,51	42	1,40
SMA	-	-	3	1,73
AB	326	1,24	119	1,41
BS	-	-	8	1,22
KAB	144	1,31	485	1,40
ÖS	143	1,54	521	1,54
SOP	-	-	42	2,48
Yhteensä	642	1,34	1220	1,50

Taulukko 17: Tasaisuuden ero rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuina syksyllä 1992 (kevään mittauksia vastaava aineisto).

Tieluokka	Rakennettu		Perusparannettu	
	Pituus (km)	IRI (mm/m)	Pituus (km)	IRI (mm/m)
Mo + Mol	158	1,10	-	-
Vt + Kt	58	1,30	57	1,17
Seud.tie	72	1,33	2	1,56
Kokoojatie	45	1,36	35	1,24
Yhdystie	30	1,54	7	1,35
Yhteensä	363	1,25	101	1,21

Taulukko 18: Tasaisuuden ero rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä päällystetyypin mukaan jaoiteltuina syksyllä 1992 (kevään mittauksia vastaava aineisto).

Päällystetyyppi	Rakennettu		Perusparannettu	
	Pituus (km)	IRI (mm/m)	Pituus (km)	IRI (mm/m)
ABE	15	1,42	-	-
SMA	-	-	-	-
AB	231	1,19	70	1,24
BS	-	-	-	-
KAB	54	1,29	2	1,56
ÖS	63	1,42	29	1,14
SOP	-	-	-	-
Yhteensä	363	1,25	101	1,21

Taulukko 19: Tasaisuuden ero rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuina keväällä 1993.

Tieluokka	Rakennettu		Perusparannettu	
	Pituus (km)	IRI (mm/m)	Pituus (km)	IRI (mm/m)
Mo + Mol	166	1,26	-	-
Vt + Kt	58	1,52	57	1,39
Seud.tie	72	1,56	2	1,65
Kokoojatie	45	1,55	35	1,40
Yhdystie	30	1,64	7	1,76
Yhteensä	371	1,42	101	1,42

Taulukko 20: Tasaisuuden ero rakennettujen ja perusparannettujen teiden välillä päällystetyypin mukaan jaoiteltuina keväällä 1993.

Päällystetyyppi	Rakennettu		Perusparannettu	
	Pituus (km)	IRI (mm/m)	Pituus (km)	IRI (mm/m)
ABE	15	1,58	-	-
SMA	-	-	-	-
AB	239	1,36	70	1,42
BS	-	-	-	-
KAB	54	1,43	2	1,65
ÖS	63	1,63	29	1,42
SOP	-	-	-	-
Yhteensä	371	1,42	101	1,42

6 TASAIUUUS ERI VUOSINA

Vuonna 1992 tehdyt mittaukset olivat vasta toinen vuosi, jolloin tunnuslukuna oli IRI-arvo. Näin ollen tänä vuonna saatiin vasta ensimmäinen vertailu IRI-arvojen kehityksestä. Aikaisempiin laser-mittaustuloksiin vertailu on tehty matemaattisen kalibroinnin avulla.

VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio on tiehallituksen tilauksesta laatinut kalibrointiyhtälöt laser-epätasaisuuslukujen muuntamiseksi IRI-epätasaisuusluvuiksi /12/. Kalibrointiyhtälö on alla esitettyä muotoa:

$$y = e^{\alpha} x^{\beta} \quad (2)$$

jossa y on ennustettu IRI-arvo laser-epätasaisuusluvun arvolla x ja $e = 2,71828...$. Kalibrointiyhtälö (2) on käyräviivainen ja kulkee origon kautta. Se vastaa kansainvälisesti useimmin käytettyä epätasaisuusindeksien kalibrointiyhtälöä. Kalibrointitutkimuksen perusteella päädyttiin liitteessä 1 esitettyyn kalibrointikäyrään, jonka perusteella laser-epätasaisuusarvot on muunnettu IRI-epätasaisuusarvoiksi (1000 m:n osuudet). Kullekin tieluokalle on laadittu myös omat kalibrointikäyränsä (taulukko 21).

Taulukko 21: Kalibrointiyhtälöt laser-arvojen muuntamiseksi IRI-arvoiksi /12/.

Tieluokka	α	β
Moottoritiet	-2,115	0,576
Valta- ja kantatiet	-2,238	0,617
Seudulliset tiet	-3,220	0,832
Kokoojatiet	-3,284	0,842
Yhdystiet	-3,368	0,852
Keskiarvokäyrä	-2,856	0,755

Vuosien 1984 - 1993 syksyn ja kevään keskimääräiset epätasaisuusarvot on esitetty kuvissa 13 ja 14 luokiteltuna tien toiminnallisen luokan mukaan. Syksyjen 1984 - 1990 ja keväiden 1985 - 1991 aineisto on laser-tasaisuusmittaustuloksista muutettu kalibrointikäyrän avulla IRI-luvuiksi. Kaikissa tieluokissa on tapahtunut pientä mutta selvää tasaisuuden paranemista syksyllä 1992 edellisestä vuodesta (ensimmäiset IRI-mittaukset). Koko aineiston IRI:n keskiarvo on parantunut noin 5 %. Eri tieluokissa tasaisuus on parantunut 3 - 9 %. Vuoden 1992 aiempaan tasoon verrattuna tasaisuus on selvästi parempi. Vuodesta 1984 lähtien tasaisuus on parantunut tien eri toiminnallisissa luokissa kaikkiaan 25 - 35 %. Kevään koko aineiston osalla keskimääräinen tasaisuuden paraneminen oli vuodesta 1992 tähän vuoteen saman suuruinen kuin syksylläkin. Eri toiminnallisten luokkien välillä oli eroja. Joidenkin tieluokkien osalla tasaisuus oli jopa aavistuksen huonontunut (noin 2 %).

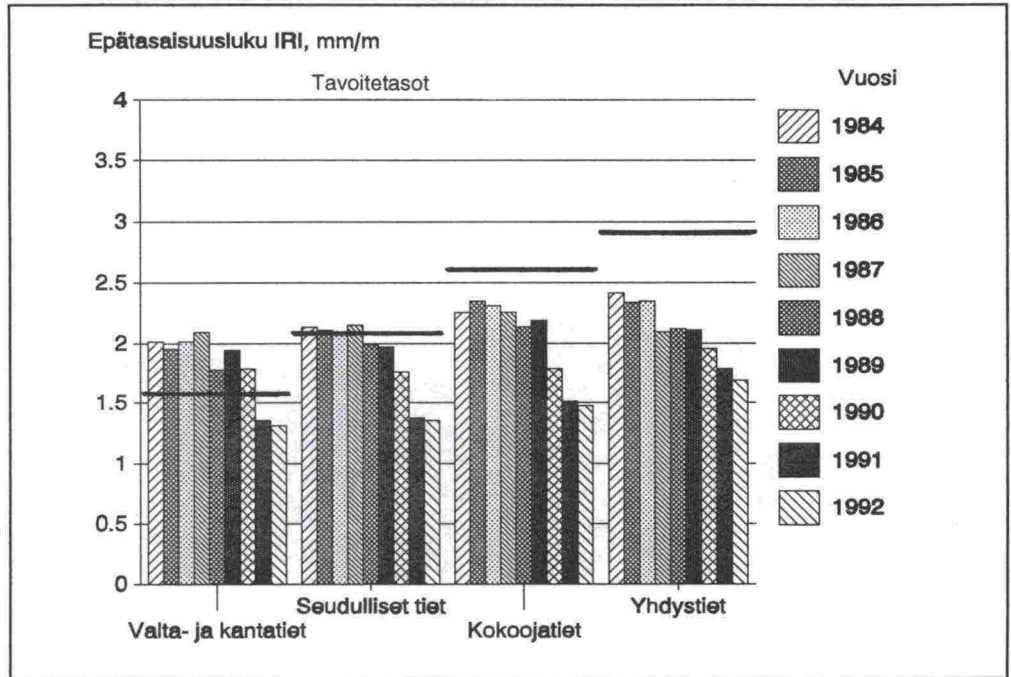
Kuvissa 15 ja 16 on esitetty tasaisuuden kehitys 1984 - 1993 päällystetyypin perusteella syksyllä sekä keväällä. Mukaan tarkasteluun on otettu uutena

päällystetyypinä ABE. Päällystetyypeistä AB:n BS:n ja ÖS:n syksyllä 1992 tasaisuus on parantunut edellisestä vuodesta. Erityisen selvä paraneminen on BS:n osalla. AB:n tasaisuus oli parantunut 6 %). Aineisto vuonna 1992 oli kuitenkin erittäin pieni. ABE:n ja KAB:n tasaisuus on hieman huonontunut. Kaikilla päällystetyypillä on kuitenkin saavutettu vuotta 1991 aikaisempia vuosia parempi tasaisuustaso. Aivan sama suuntaus on myös kevään mittaus-ten osalla. Selvästi eniten on parantunut AB:n tasaisuus (peräti 20 %).

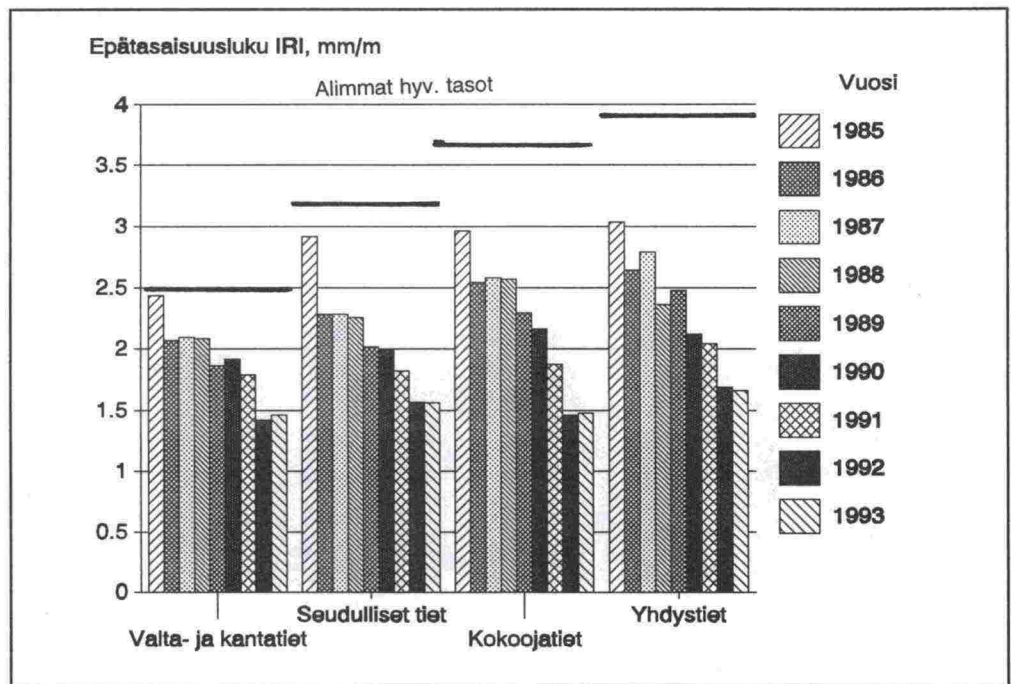
Kuvissa 17 ja 18 on esitetty vertailu tien toiminnallisen luokan mukaan, kun kalibroinnissa on käytetty tieluokakohtaisia kalibrintiyhtälöitä. Tähän kuvaan on otettu mukaan myös moottori- ja moottoriliikennetieluokka, vaikka aineistoa ei olekaan kuin kahdelta viimeiseltä vuodelta.

Sekä tien toiminnallisen luokan että päällystetyypin perusteella tehdyn tarkastelun perusteella näyttää tasaisuus parantuneen selvästi edellisvuosiin verrattuna. Pientä tasaisuuden parantumista on tapahtunut vielä vuodesta 1991. Tasaisuuden paranemiseen on vaikuttanut omalta osaltaan levitystyö-tekniikan kehitys (ASTO-tutkimuksen tulosten huomioon ottaminen). Suurimpana syynä on se, että monilla työmailla massaa levitettäessä levitystyö etenee keskeytymättömästi eli massa-auto vaihdetaan levittimen edessä lennosta levitintä pysäyttämättä eikä levitintä ajeta tyhjäksi. Tällä työtekniikalla päällysteen tasaisuutta saadaan selvästi parannettua, joten tulevaisuudessa tulisi kaikilla työmailla pyrkiä keskeytyksettömaan levitystyön etenemiseen, jos se vain on mahdollista muiden olosuhteiden osalta mahdollista.

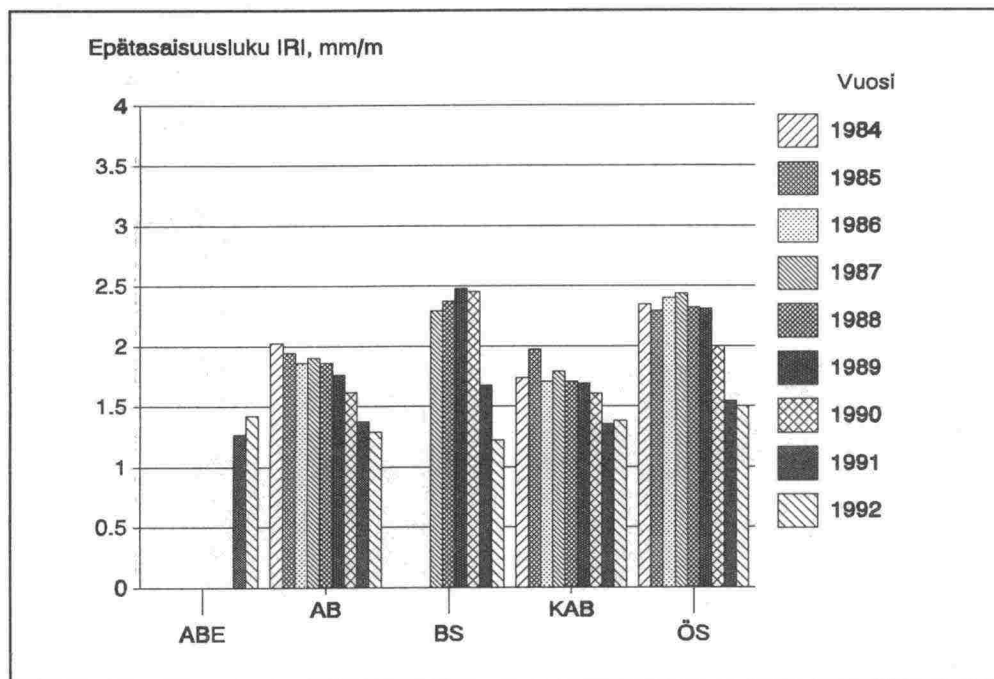
Kehityssuuntausta tarkasteltaessa on havaittavissa, että vuosien 1991 ja 1992 välillä tasaisuuden paraneminen on ollut todella voimakasta. Juuri näinä aikoina alettiin työmenetelmiin kiinnittää erityistä huomiota, joten kehitys on ymmärrettävää. Todellisuudessa tasaisuuden parantuminen ei mahdollisesti ole kuitenkaan aivan näin suurta, vaan tulosten ero tässä välissä johtuu osittain myös mittaustavan muutoksesta eikä laser-mittaustulosten kalibrointi IRI-tuloksiksi ole tällä hetkellä aivan tarkka. Tämä johtuu siitä, että kalibroinnit on tehty kullakin tieluokalla ja päällystetyypillä keskiarvotuloksista eikä yksittäisistä kilometriarvoista. Kalibrintiyhtälön käyräviivaisuudesta johtuen muutettaessa vain keskiarvo saadaan hieman liian suuri IRI-arvo. Jos kalibrointi tehtäisiin kullekin kilometriarvolle erikseen ja vasta muunnetuista luvuista laskettaisiin keskiarvo, erittäin tasaiset ja epätasaiset kilometrit alentaisivat hieman tasoa. Kalibroinnin tekeminen tällä tasolla olisi kuitenkin erittäin työlästä, koska koko aineisto kultakin vuodelta jouduttaisiin käsittelemään uudestaan. Tarkastelutavasta aiheutuvan virheen suuruuden arvioimiseksi on tehty eräällä vuoden 1990 aineistolla (1085 km) tarkastelu tekemällä kalibrointi sekä kilometriarvoille että tieluokittaisille keskiarvoille. Kalibroiduista kilometriarvoista laskettiin keskiarvot ja verrattiin niitä kalibroituihin keskiarvoihin. Kilometreittäin tehdyillä muunnoksilla saatiin noin 2 % alhaisempia keskiarvotuloksia kuhunkin tien toiminnalliseen luokkaan /8/.



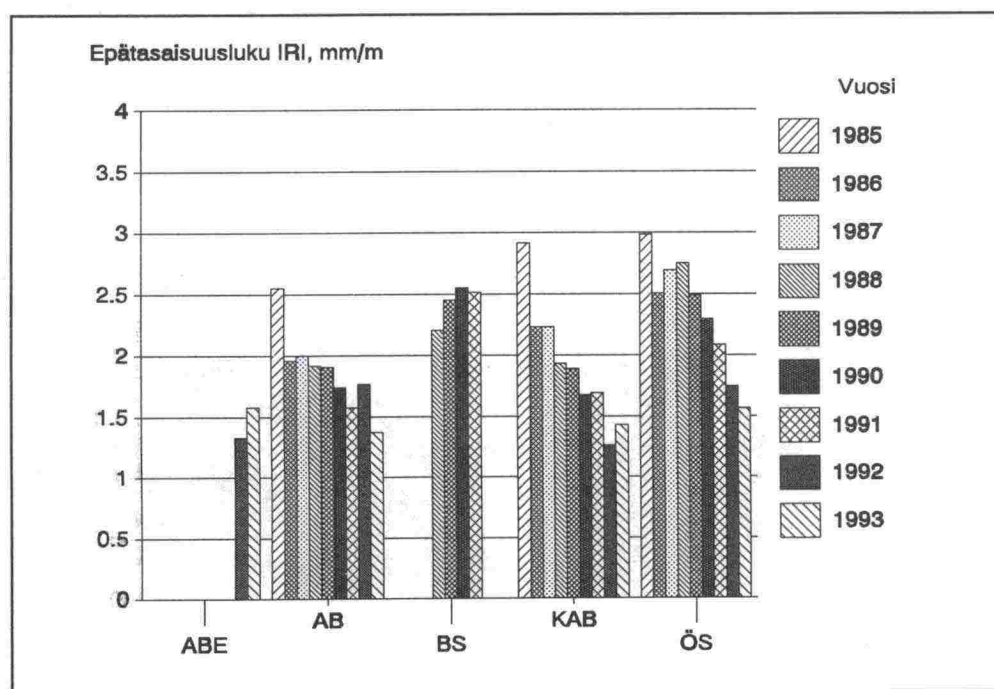
Kuva 13: Keskimääräinen epätasaisuus syksyllä 1984 - 1992 tien eri toiminnallisissa luokissa.



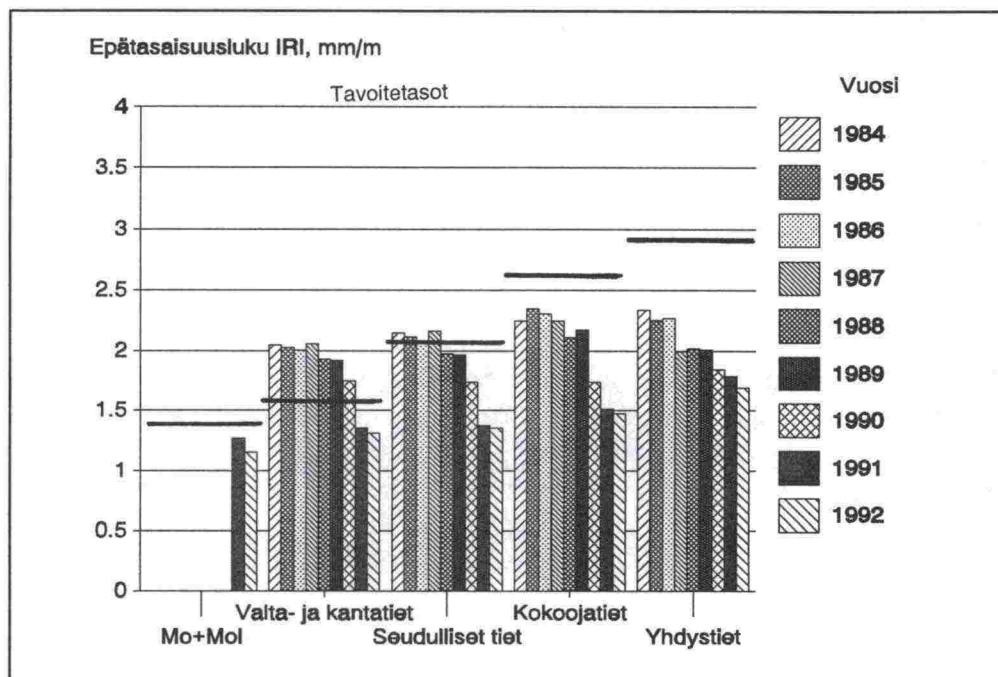
Kuva 14: Keskimääräinen epätasaisuus keväällä 1985 - 1993 tien eri toiminnallisissa luokissa.



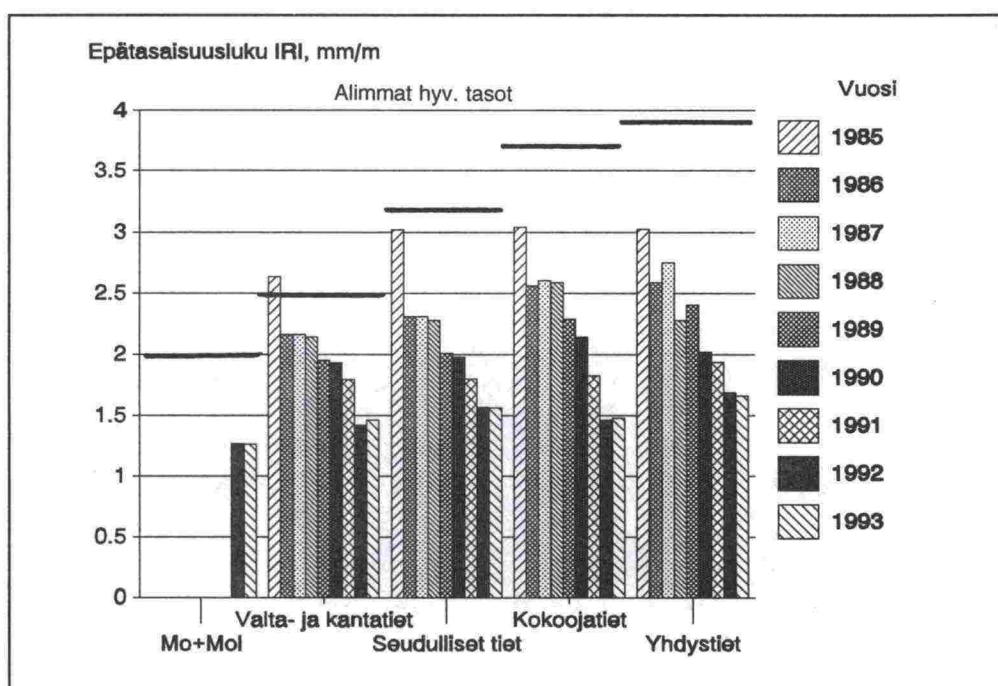
Kuva 15: Keskimääräiset epätasaisuudet päällystetyypeittäin syksyllä 1984 - 1992.



Kuva 16: Keskimääräiset epätasaisuudet päällystetyypeittäin kevällä 1985 - 1993.



Kuva 17: Keskimääräinen epätasaisuus syksyllä 1984 - 1992 tien eri toiminnallisissa luokissa, tieluokkakohtainen kalibrointi.



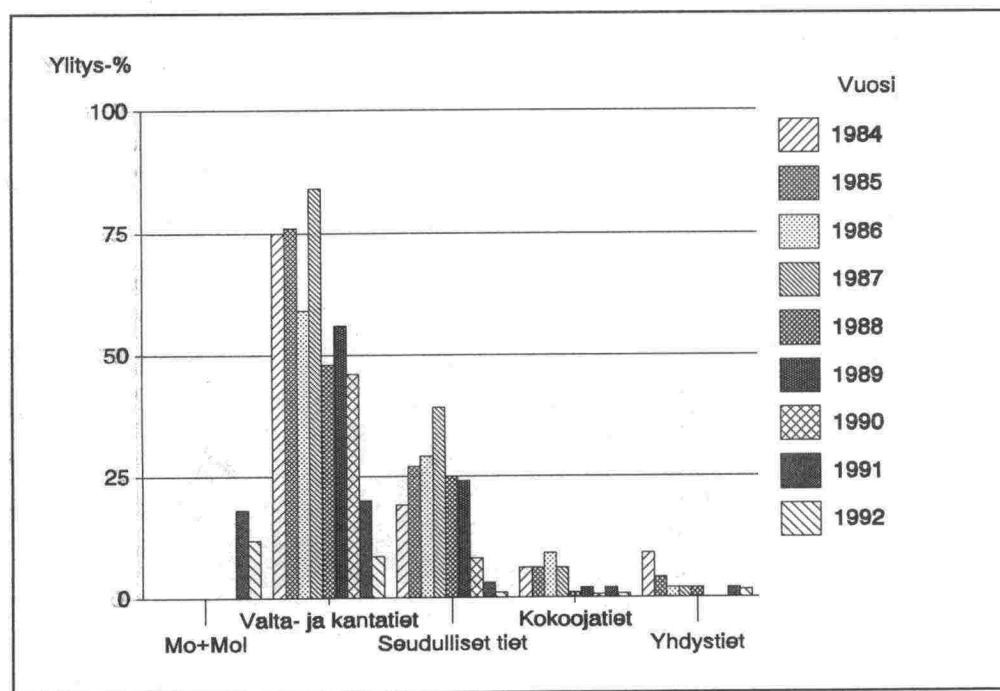
Kuva 18: Keskimääräinen epätasaisuus kevällä 1985 - 1993 tien eri toiminnallisissa luokissa, tieluokkakohtainen kalibrointi.

7 VAATIMUSRAJOJEN YLITYKSET AIEMPIIN VUOSIIN VERRATTUNA

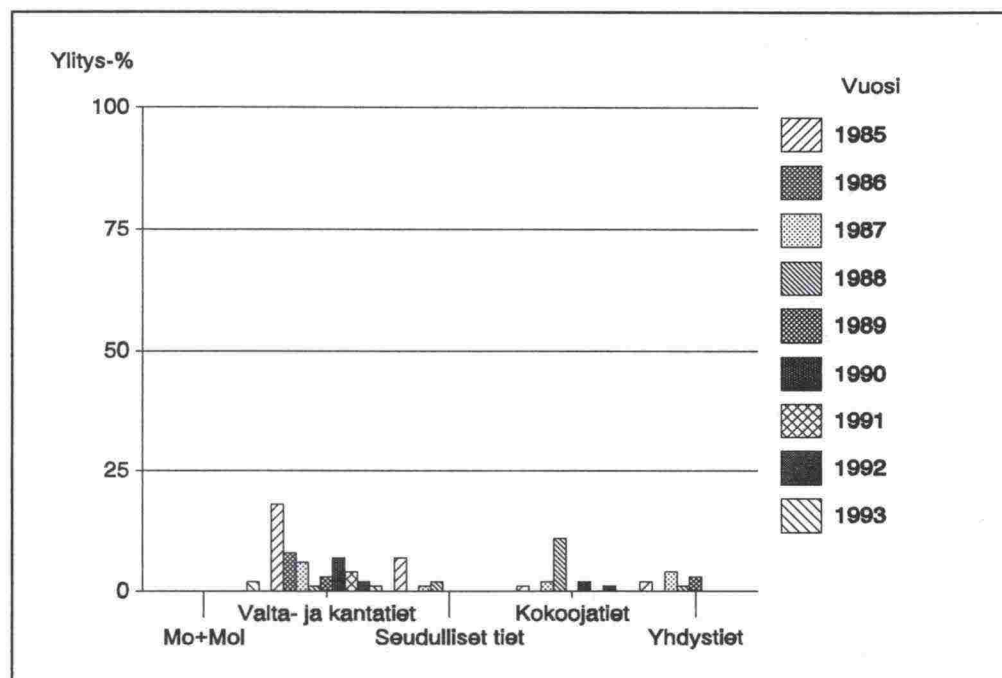
Kuvissa 19 - 20 on esitetty tavoitetason ylitykset syksyllä vuosina 1984 - 1992 ja alimman hyväksyttävän tason ylitykset keväällä vuosina 1985 - 1993 tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuina. Uutena tieluokkana tarkasteluun on otettu mukaan moottori- ja moottoriliikennetiet, vaikka aineisto ei olekaan kuin kahdelta vuodelta.

Valta- ja kantateillä tavoitetason ylitykset syksyllä 1992 ovat selvästi vähentyneet. Muiden tieluokkien osalla on myös tapahtunut vähenemistä, mutta se on ollut selvästi pienempää. Tosin muilla tieluokilla ylitysten määrät ovat jo aiemminkin olleet erittäin pieniä. Tavoitetason ylitykset vähenevät tieluokan alentuessa. Nykyisin enää ainostaan moottori- ja moottoriliikenneteillä sekä valta- ja kantateillä on mainittavasti tavoitetason ylityksiä.

Alimman hyväksyttävän tason ylitykset keväällä 1993 ovat kaikilla tieluokilla erittäin pieniä, kuten olivat jo edellisenä vuonna. Valta- ja kantateiden osallakin ylitysmäärät ovat erittäin pienet (1 %). Ainostaan moottoriteillä oli ylityksiä vuonna 1993 noin 2 %, mikä oli edellisvuotta enemmän. Muilla tieluokilla raja-arvojen ylityksiä ei enää ollut lainkaan.



Kuva 19: Tavoitetason ylittäneiden mittauskilometrien %-osuus syksyllä 1984 - 1992.



Kuva 20: Alimman hyväksyttävän tason ylittäneiden mittauskilometrien %-osuus keväällä 1985 - 1993.

8 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu vuonna 1992 rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta, jota on mitattu PTM-autolla tai IRI-tasaisuusmittarilla IRI-tasaisuusarvoina. Tämä raportti on ensimmäinen, jossa tasaisuutta arvostellaan IRI-mittausten perusteella aiempien laser-mittausten sijaan.

Alla olevassa taulukossa 22 on esitetty vuonna 1992 rakennettujen ja perusparannettujen teiden keskimääräinen tasaisuus syksyllä 1992 ja keväällä 1993 tien eri toiminnallisissa luokissa. Taulukossa on syksyn osalla esitetty suluissa IRI-arvot, jotka on saatu kevään mittauksia vastaavasta aineistosta.

Taulukko 22. Tien eri toiminnallisten luokkien keskimääräiset tasaisuudet syksyllä 1992 ja keväällä 1993. Suluissa syksyn kohdalla kevään mittauksia vastaavan aineiston tulokset.

Tien toiminnallinen luokka	Pituus (km)		IRI-tasaisuus (mm/m)	
	syksy	kevät	syksy	kevät
Moottoritie	205	166	1,15 (1,10)	1,25
Vt + Kt.	286	115	1,31 (1,26)	1,46
Seudull.tie	307	74	1,35 (1,34)	1,56
Kokoojatie	604	80	1,47 (1,31)	1,48
Yhdystie	460	37	1,69 (1,50)	1,66
Yhteensä	1862	472	1,44 (1,24)	1,42

Päällysteen epätasaisuus lisääntyi syksyllä 1992 tien toiminnallisen luokan alentuessa. Kokooja- ja yhdysteillä tasaisuus oli selvästi huonompi ja moottoriteillä selvästi parempi. Yhdysteiden keskiarvoa kohottaa hieman 42 km SOP-päällystettä (IRI = 2,5 mm/m). Kevään osalla tilanne ei ollut yhtä selväpiirteinen. Silloinkin tosin moottoritiet sekä moottoriliikennetiet olivat tasaisimpia ja yhdystiet epätasaisimpia, mutta muiden tieluokkien välillä ei ole niin suuria eroja. Kevään aineistoon ei enää kuulunut SOP-päällysteitä.

Päällystelajeista tasaisimpia olivat syksyllä 1992 AB- ja BS-päällysteet (IRI 1,3 ja 1,2 mm/m) ja epätasaisimpia SOP-päällysteet (IRI 2,5 mm/m). SMA-päällysteen tasaisuus oli hämmästyttävän huono (IRI 1,7 mm/m) aineiston ollessa tosin erittäin pieni (3 km). Myös keväällä 1993 oli AB:n tasaisuus paras (IRI 1,4 mm/m), tosin KAB:n tasaisuus on lähes yhtä hyvä.

Tavoitetason ylityksiä syksyllä 1992 oli eniten moottori- ja moottoriliikenneteillä sen jälkeen valtateillä. Muilla tieluokilla ylitysmäärät olivat erittäin pieniä. Alimman hyväksyttävän tason alituksia keväällä 1993 ei juuri ollut millään tieluokalla (moottoriteillä noin 2 %).

Syksyn 1992 mittauksissa rakennettujen teiden tasaisuus oli noin 10 % parempi kuin perusparannettujen teiden, mutta keväällä 1993 ei eroa ollut enää havaittavissa.

Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus on yleisesti parantunut jatkuvasti viime vuosina. Selvä tason muutos on tapahtunut vuonna 1991 tehtyjen töiden kohdalla, jolloin siirryttiin mittaustavassa laser-mittauksesta IRI-mittaukseen. Laser-arvoista IRI-arvoiksi kalibroidut vuosien 1984 - 1991 tulokset ovat hieman liian suuria (noin 2 %), koska muutos on tehty keskiarvoista eikä yksittäisistä kilometriarvoista.

Vertailu aiempiin vuosiin on tehty siten, että laser-tasaisuustulokset on matemaattisesti muutettu kalibrointiyhtälön avulla IRI-arvoiksi. Tämän vertailun perusteella teiden tasaisuus on parantunut syksyllä 1992 edellisvuodesta kaikilla tien toiminnallisilla luokilla ja useilla päällystetyypeillä. Paraneminen on ollut suunnilleen yhtä suurta kaikilla tieluokilla sekä päällystetyypeistä on eniten parantunut tasaisuus bitumisorapäällysteellä. Myös syksyn tavoitetason ja kevään alimman hyväksyttävän tason ylitykset ovat vähentyneet. Erityisen positiivista on, että korkealuokkaisilla teillä (valtatiet ja moottoritiet) on tasaisuus selvästi parantunut eivätkä tavoitetason ylitysmäärät ole juuri sen suurempia kuin muillakaan tieluokilla.

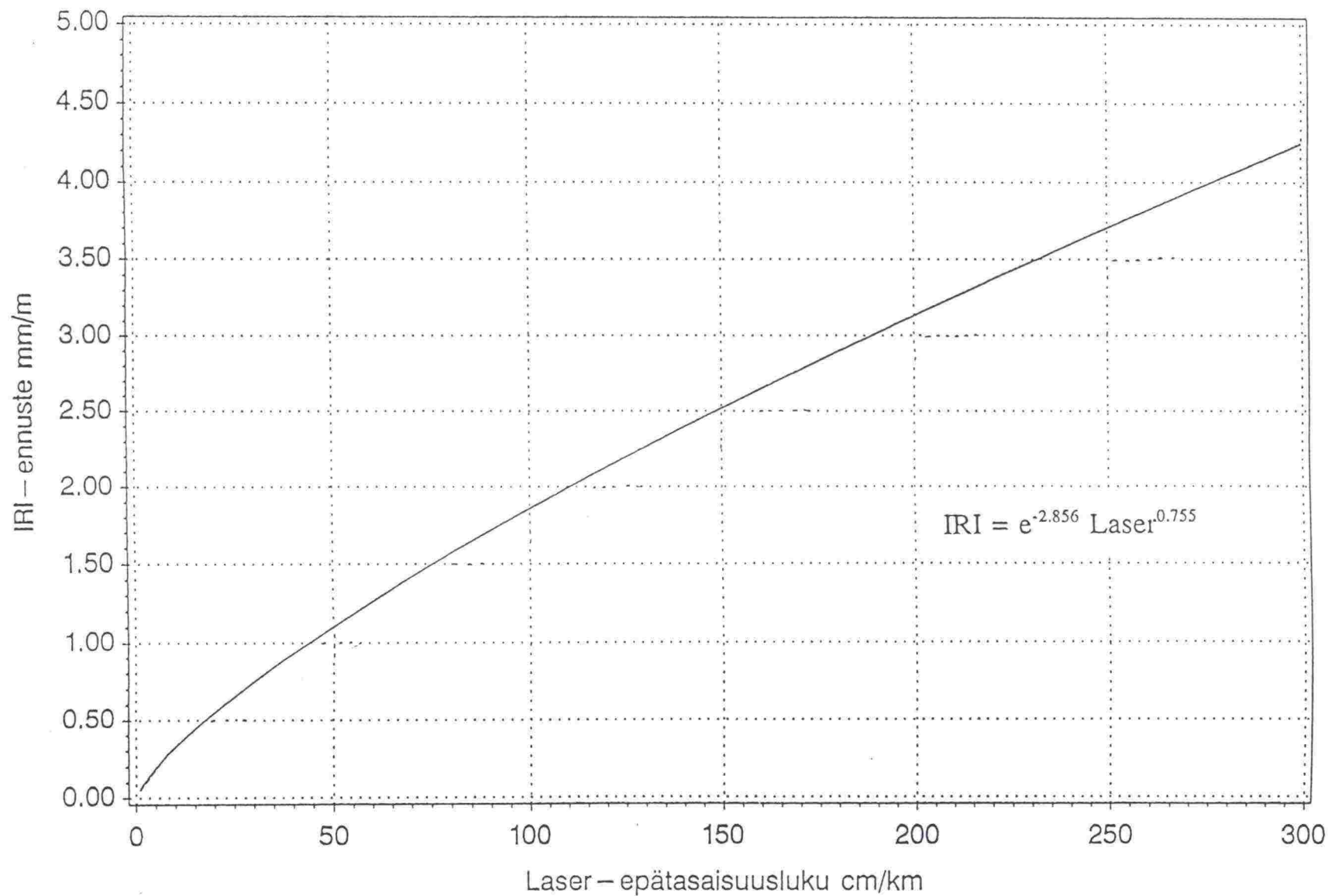
Tasaisuuden paranemiseen on vaikuttanut työtekniikan kehitys; levitystyö on useilla työmailla keskeytyksetöntä eli massa-auto vaihdetaan levittimen edessä levittimen pysähtymättä (ASTO-tutkimusten tulosten huomioon ottaminen). Muutenkin aivan viime vuosina on ryhdytty oikeisiin työmenetelmiin kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Parannettavaakin toki vielä on, sillä työmenetelmät eivät ole kunnossa kaikilla työmailla. Ammattitaidon kehittämisellä ja koulutuksella on tässä työssä keskeinen merkitys. Erityisesti työmenetelmiin on kiinnitettävä huomiota keväällä töitä aloitettaessa; edellisen kesän opit tuntuvat unohtuvan liian usein talven aikana.

9 LÄHDELUETTELO

1. Kurki, Reijo ja Lampinen, Anssi. Teiden tasaisuusluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 474. Espoo, maaliskuu 1985. 44 s.
2. Kurki, Reijo. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1984-1985. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 492. Espoo, heinäkuu 1985. 18 s.
3. Kurki, Reijo. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1986-1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 653. Espoo, lokakuu 1987. 31 s.
4. Kurki, Reijo ja Laitinen, Leena. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1987-1988. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 748. Espoo, syyskuu 1989. 28 s.
5. Laitinen, Leena ja Pellinen, Terhi. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1988-1989 ja 1989-1990. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 821. Espoo, marraskuu 1990. 50 s.
6. Pellinen, Terhi. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1990-1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 46. Espoo, marraskuu 1991. 33 s.
7. Pellinen, Terhi. Uusien päällysteiden tasaisuus 1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 76. Espoo, helmikuu 1992. 30 s.
8. Laitinen, Vesa. Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1992-1993. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 46. Espoo, marraskuu 1992. 47 s.
9. Sayers, Michael; Gillespie, Thomas and Paterson, William. Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. World Bank Technical Paper number 46. Washington D.C., USA, 1986. 87 p.
10. Paterson, William. Road Deterioration and Maintenance Effect. Models for Planning and Management. World Bank, The Highway Design and Maintenance Standards series. The Johns Hopkins University Press Baltimore and London. 33-42 pp.

11. Sayers, Michael; Gillespie, Thomas and Queiroz, Cesar. The International Road Roughness Experiment, Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements. World Bank Technical Paper number 45. Washington D.C., USA, 1986. 453 p.
12. Alanko, Timo ja Pellinen, Terhi. Laser- ja IRI-tasaisuusmittausten kalibrointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 38. Espoo, 1991. 41 s.
13. Terhi Pellinen. Sekoituksen ja lisäaineiden vaikutus asfalttiasfaltojen työstettävyyteen, laboratoriotutkimus. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987 - 1992 TR 7. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio n:o 779. Espoo, maaliskuu 1991. 31 s ja liitteet.
14. Laitinen, Vesa; Orama, Reijo ja Pellinen, Terhi. PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI / Laser). Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 136. Espoo, tammikuu 1993. 57 s.
15. Halonen, Pekka ja Laitinen, Vesa. Teiden tasaisuusmittareiden vertailu, PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasituksiin. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 167. Espoo, toukokuu 1993. 65 s ja liitteet.

Kalibrointikäyrä IRI – lasermittaus; koko 1988 – 1990 aineisto
1000 m:n osuudet



TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshal-menetelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 23/1991 Betonipäällysten seuranta; Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1991 Moreenin käyttö tierakenteissa. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 39/1991 Koerakenteita turve- ja selttipehmeikölle. Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rekennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus

TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 32/1993 V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa; Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökokeista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. TIEL 4000043
- 48/1993 Geopalveluiden maksu- ja mittausperusteet; Geopalveluysiköiden tuloslaskelmat. TIEL 4000049

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1992 Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakka-kestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys Laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/Laser). TIEL 3200134

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1993 Arktinen tienrakentaminen. TIEL 3200121
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200144
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- 26/1993 Bentoniliittimattojen ja muovikavojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen, tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämmöneristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta. TIEL 3200161
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 71/1993 Nonwoven Geotextiles in Road Constructions. TIEL 3200193E
- 76/1993 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1992-1993. TIEL 3200200

Geotekniikan informaatiojulkaisuja:

- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. TIEL 3200150

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-8132-5
TIEL 3200200